

SÉRIE A, N° 1058

N° D'ORDRE
1900

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par M. Fernand BALDET

Aide-Astronome à l'Observatoire de Paris, détaché à l'Observatoire de Meudon.

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DES COMÈTES ET SUR LES SPECTRES DU CARBONE.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le // juin 1926, devant la Commission d'Examen.

MM. G. URBAIN, *Président.*

CH. FABRY,
L. DUNOYER, } *Examineurs.*



ORLÉANS

IMPRIMERIE HENRI TESSIER

8 bis et 8 ter, rue du Faubourg-Madeleine.

1926

SÉRIE A. N° 1058

N° D'ORDRE
1900

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par **M. Fernand BALDET**

Aide-Astronome à l'Observatoire de Paris, détaché à l'Observatoire de Meudon.

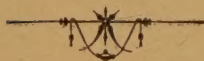
1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DES COMÈTES ET SUR LES
SPECTRES DU CARBONE.

2^{me} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le // juin 1926, devant la Commission d'Examen.

MM. G. URBAIN, *Président*.

CH. FABRY,
L. DUNOYER, } *Examineurs*.



ORLÉANS

IMPRIMERIE HENRI TESSIER

8 bis et 8 ter, rue du Faubourg-Madeleine.

1926

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen..... M. MOLLIARD, *Professeur*. Physiologie végétale.

Doyen honoraire P. APPELL.

Professeurs honoraires.

P. PUISEUX.
V. BOUSSINESQ.
A. JOANNIS.
H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.



Professeurs

EMILE PICARD Analyse supérieure et algèbre supérieure.
G. KÖNIGS Mécanique physique et expérimentale.
E. GOURSAT Calcul différentiel et calcul intégral.
P. JANET Electrotechnique générale.
F. WALLERANT Minéralogie.
H. ANDOYER Astronomie.
P. PAINLEVÉ Mécanique analytique et mécanique céleste.
E. HAUG Géologie.
Gabriel BERTRAND .. Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE Physique générale et radioactivité.
M. CAULLERY..... Zoologie (Evolution des êtres organisés).
C. CHABRIÉ Chimie appliquée.
G. URBAIN Chimie minérale.
Emile BOREL Calcul des probabilités et Physique mathématique.
L. MARCHIS Aviation.
Jean PERRIN Chimie physique.
H. ABRAHAM Physique.
E. CARTAN Géométrie supérieure.
L. LAPICQUE Physiologie générale.
E. VESSIOT Théorie des groupes et calcul des variations.
A. COTTON Physique générale.
J. DRACH Application de l'analyse à la géométrie.
Charles FABRY..... Physique.
Charles PÉREZ Zoologie.
A. LEDUC Physique théorique et physique céleste.
Léon BERTRAND ... Géologie appliquée et géologie régionale.
R. LESPIEAU Théories chimiques.
E. RABAUD..... Biologie expérimentale.
P. PORTIER Physiologie comparée.
É. BLAISE Chimie organique.
P.-A. DANGEARD ... Botanique.
C. MAURAIN Physique du globe.
P. MONTEL Mécanique rationnelle.
P. WINTREBERT.... Anatomie et histologie comparées.
O. DUBOSCQ Biologie maritime.
M. TIFFENEAU Chimie (Enseignement P. C. N.).
G. JULIA Mathématiques générales.
A. JOB Chimie générale.
N. Géographie physique.

E. HÉROUARD Zoologie.
Rémy PERRIER Zoologie (Enseignement P. C. N.).
G. SAGNAC Physique théorique et physique céleste.
E. PÉCHARD Chimie (Enseignement P. C. N.).
V. AUGER Chimie analytique.
M. GUICHARD..... Chimie minérale.
A. GUILLET Physique.
C. MAUGUIN Minéralogie.
L. BLARINGHEM.... Botanique.
A. MICHEL-LÉVY ... Pétrographie.
A. DEREIMS Géologie.
R. DONGIER Physique du globe.

Secrétaire Daniel TOMBECK.

A Monsieur Henri DESLANDRES

*Membre de l'Institut,
Directeur de l'Observatoire de Meudon.*

A Monsieur le Comte A. DE LA BAUME PLUVINEL

Member correspondant du Bureau des Longitudes.

Hommage de respectueuse Reconnaissance.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	1
--------------------	---

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE ET GÉNÉRALITÉS

I. — *Historique.*

Nos

1. Statistique. — 2. Première étape. Observations visuelles. — 3. Spectre de Swan. — 4. Discordances dans les observations. — 5. Discussions. Confirmations du spectre de Swan. — 6. Spectres non identifiés. — 7. Deuxième étape. Observations photographiques. — 8. Comètes brillantes. Sodium — 9. Spectres divers. Fer (?) — 10. Discussion de H. Kayser. — 11. Troisième étape. Prisme-objectif. — 12. Instrument de M. A. de la Baume Pluvinel. — 13. Résumé des connaissances acquises en 1907. — 14. Le spectre des queues des grandes comètes	2
--	---

II. — *Spectres pour l'identification.*

15. Spectres du carbone. — 16. Longueurs d'onde de quatre groupes de bandes	12
---	----

CHAPITRE II

OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES

I. — *La comète Daniel (1907 d).*

17. La comète Daniel. — 18. Nos observations. — 19. Résultats. — 20. La bande rouge. — 21. Son identification avec le spectre rouge du cyanogène. — 22. Remarques sur ce spectre. — 23. Longueurs d'onde. — 24. Spectre de la queue sur nos plaques. — 25. Spectre de la queue observé à Meudon, Göttingue, Nice et Kodaikanal. — 26. Les raies du sodium	16
---	----

II. — *La comète Morehouse (1908 c).*

27. Nos observations. — 28. Résultats définitifs. Identification complète du spectre des queues. Longueurs d'onde. — 29. Autres observations 24

III. — *La comète de Halley (1909 c).*

30. Installation spéciale. — 31. Nos observations. — 32. Résultats. Longueurs d'onde. — 33. Autres observations. — 34. Variations du spectre 28

IV. — *La grande comète (1910 a).*

35. Nos observations. — 36. Résultats. Longueurs d'onde. — 37. Les raies du sodium. Bandes rouges 31

V. — *La comète Kiess (1911 b).*

38. Nos observations. — 39. Résultats. Longueurs d'onde. — 40. La queue de la comète. 34

VI. — *La comète Brooks (1911 c).*

41. Nos observations. — 42. Mesure des clichés. — 43. Résultats. Longueurs d'onde. — 44. Spectre du noyau. — 45. Spectre de la queue. Désaccord avec la théorie de Bredichin. — 46. Variations du spectre. — 47. Autres observations 36

VII. — *La comète Quéniisset (1911 f).*

48. Nos observations. — 49. Résultats. Longueurs d'onde 45

VIII. — *La comète Gale (1912 a).*

50. Nos observations. — 51. Résultats. Longueurs d'onde. — 52. Spectre de la queue. Désaccord avec la théorie de Bredichin 47

CHAPITRE III

RÉSULTATS GÉNÉRAUX

I. — *Répartition constante des divers spectres dans les comètes.*

53. Répartition d'après nos observations. — 54. Incertitude sur la nature des gaz constitutifs. — 55. Origine du spectre continu 50

II. — *Variations des spectres des comètes.*

56. Influence de la distance au Soleil. Activité du noyau 52

— VII —

III. — *Le spectre du noyau.*

57. Liste des radiations non identifiées dans toutes les comètes. — 58. Reconstitution du spectre du noyau. — 59. Conclusions. Spectre de lignes 53

IV. — *Vue d'ensemble et bibliographie générale.*

60. Identification des spectres des comètes de 1864 à 1925. — 61. Index bibliographique des observations spectrales 59

CHAPITRE IV

RECHERCHES DE LABORATOIRE

I. — *Le spectre des queues.*

62. Historique : Fowler, Merton et Johnson. — 63. La décharge thermionique 72

II. — *Appareils.*

64. Ampoule thermionique. — 65. Arrangement des appareils, etc. — 66. Spectrographes . 73

III. — *Spectres thermioniques de l'oxyde de carbone.*

67. Spectres aux différentes pressions. — 68. Remarques diverses sur les expériences. — 69. Les jets lumineux autour du filament 77

IV. — *Le troisième groupe négatif du carbone.*

70. Nouvelle terminologie. — 71. Photographies. — 72. Longueurs d'onde des arêtes. — 73. Représentation par la deuxième loi de Deslandres 80

V. — *Structure des bandes.*

74. La bande λ 3999. — 75. Règles de combinaison interne. — 76. Autres bandes. — 77. Influence de la pression. — 78. Conséquences pour la théorie des comètes. — 79. Ressemblance des bandes du CO, NO et BO. — 80. Travaux ultérieurs sur le troisième groupe négatif du carbone 87

VI. — *Nouveau spectre de bandes.*

81. Description. Longueurs d'onde. — 82. Travaux ultérieurs 95

VII. — *Spectres thermioniques de différents gaz.*

83. Gaz carbonés. Recherche du spectre de Swan, Acétylène, Benzène, Naphtalène, Alcool méthylique. Gaz d'éclairage. Cathode de carbone. — 84. Conclusions. — 85. Hydrogène et air 97

— VIII —

VIII. — *Le spectre de la comète Brorsen (1868 a).*

86. Observations de W. Huggins Longueurs d'onde. — 87. Observations du P. Secchi. Longueurs d'onde — 88. Identification — 89. Retour de 1879	99
---	----

IX. — *Le spectre du bec Méker.*

90. Observations de C.-W. Raffety. — 91. Longueurs d'onde. Comparaison avec les comètes	103
---	-----

CHAPITRE V

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

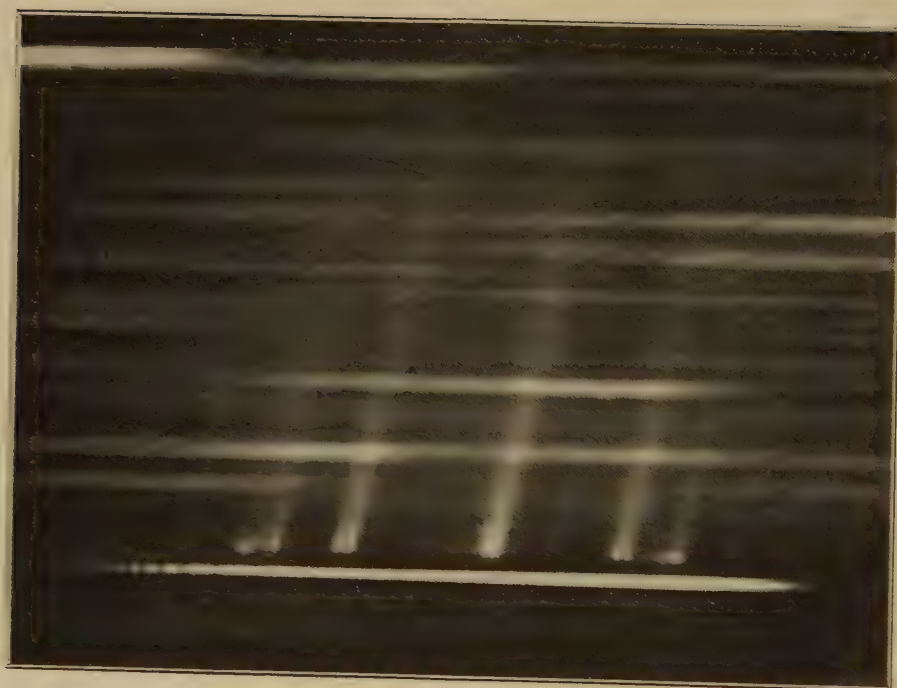
92. Simplicité des spectres cométaires. — 93. Documents nouveaux	105
--	-----

APPENDICE

Tableau pour l'identification des spectres de comètes	107
---	-----

LISTE DES FIGURES

1. Spectre de la comète Daniel (1907 d)	19
2. Répartition constante des différents spectres dans les comètes	51
3. Spectre non identifié du noyau des comètes	59
4. Ampoule thermionique	74
5. Installation pour la décharge thermionique	75
6. Intensités photographiques des bandes du 3 ^e groupe négatif du carbone (spectre des queues)	81
7. Intensités visuelles des bandes du 3 ^e groupe négatif du carbone (spectre des queues)	81
PLANCHE I. Dessin du spectre de la comète Brooks (1911 c).	40
PLANCHE II. Structure de la bande λ 3 999.	88
PLANCHE III. Troisième groupe négatif du carbone	96
PLANCHE IV. Troisième groupe négatif du carbone (<i>suite</i>) et nouveau spectre de bandes...	



LE SPECTRE DE LA COMETE MOREHOUSE (1908 c)
par A. de la Baume Pluvinel et F. Balder.
Photographie obtenue au prisme-objectif, le 18 octobre 1908.
Pose 5^m 5^s -^m, Agrandissement = 5.

PREMIÈRE THÈSE

RECHERCHES SUR LA CONSTITUTION DES COMÈTES ET SUR LES SPECTRES DU CARBONE

AVANT-PROPOS

Les recherches qui forment l'objet du présent Mémoire se rattachent à l'astronomie d'observation et à la physique expérimentale. Elles apportent des documents nouveaux sur la constitution des comètes et sur les spectres peu connus présentés par ces astres. Elles sont complétées par un exposé historique de la question, accompagné de la bibliographie étendue des mémoires originaux, et par la discussion des résultats acquis jusqu'à présent.

Les observations astronomiques, formant la base de ce travail, ont été faites en collaboration avec M. A. de la Baume Pluvinel. Je lui adresse ici ma respectueuse reconnaissance pour toutes les facilités qu'il m'a accordées, et pour l'autorisation bienveillante d'utiliser sa collection de clichés de spectres cométaires. A part la comète Daniel (1907 *d*), les spectres de toutes les autres comètes ont été obtenus à l'Observatoire de Juvisy, que le regretté Camille Flammarion avait bien voulu mettre à notre disposition. Mon ami, M. F. Quénisset, astronome à cet établissement, a partagé avec moi les nombreuses nuits d'observation. Je lui dois d'avoir pu obtenir ainsi tant de clichés à longues poses, et lui en exprime mes sincères remerciements.

Les recherches personnelles de laboratoire ont toutes été exécutées à l'Observatoire de Meudon, ainsi que l'étude complémentaire des clichés des spectres des comètes et la mise au point de la partie historique. M. H. Deslandres a bien voulu m'accorder les crédits nécessaires pour l'achat des appareils et, d'une manière générale, m'a donné toutes facilités pour mener ces travaux à bonne fin. Je lui en exprime ma profonde gratitude.

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE ET GÉNÉRALITÉS

I. — HISTORIQUE

1. *Statistique.* — C'est en 1864, à Florence, que le premier spectre d'une comète fut observé par Donati ⁽¹⁾.

Depuis cette époque, c'est-à-dire depuis la comète 1864 *a* = 1864 II, jusqu'à mes premières observations, qui commencent à la comète 1907 *d*, il est apparu 204 comètes, dont 63, au moins, ont été étudiées spectroscopiquement.

(1) *Astronomische Nachrichten*, t. 62, 1864, p. 378. A ce sujet, il est utile de lever l'incertitude qui subsiste depuis cette époque, dans un certain nombre d'écrits, sur la comète que Donati a observée. Certains auteurs citent la comète 1864 I, d'autres la comète 1864 II.

L'origine de cette confusion est double : d'une part il y a une erreur d'impression dans la Note publiée par Donati aux *Astronomische Nachrichten* (*Ibid.*, p. 375), où le texte porte que l'analyse spectrale a été faite sur la comète 1864 I, alors que la planche qui l'accompagne indique 1864 II. D'autre part les comètes étant désignées à l'époque, et jusque vers 1877, par des chiffres romains, aussi bien pour la nomenclature provisoire dans l'ordre des découvertes, pour laquelle nous nous servons maintenant de lettres, que pour la nomenclature définitive suivant les dates des passages au périhélie, il en est résulté aussi une confusion. En effet, la première comète découverte en 1864 par Tempel le 4 juillet, est passée la deuxième au périhélie le 15 août ; alors que la deuxième comète de l'année, découverte par Donati le 9 septembre, était passée la première au périhélie le 27 juillet. On désignait donc la première par 1864 I ou 1864 II, et la seconde par 1864 II ou 1864 I, suivant les circonstances ; tandis que nous désignons aujourd'hui la comète Tempel par 1864 *a* ou 1864 II, et la comète Donati par 1864 *b* ou 1864 I.

Pour lever l'indétermination, il suffit de considérer l'heure de l'observation. Le spectre a été étudié à 2^h40^m du matin. Or, la comète 1864 *b* était couchée, à Florence, depuis 9^h1/2 du soir, tandis que 1864 *a* était levée depuis minuit. Cette dernière était, en outre, la plus brillante. Par conséquent, la première observation spectrale a été faite sur la comète Tempel 1864 II ou 1864 *a*, et non sur la comète Donati 1864 I ou 1864 *b*.

Ces confusions étaient fréquentes à l'époque, et ce n'est qu'en 1882 que l'usage des lettres, introduit vers 1877, s'est généralisé (voir *Nature* 1882, *passim*).

Les résultats des observations sont disséminés dans un grand nombre de recueils d'où j'ai extrait et discuté, pour cette période, 253 mémoires originaux. J'ai dû même reprendre le calcul des longueurs d'onde pour les premières observations. Sans pouvoir prétendre à une bibliographie rigoureusement complète du sujet, ce qui semble bien difficile, car une partie des documents se trouvent insérés incidemment en quelques lignes dans des mémoires traitant d'autres sujets, j'espère toutefois avoir dépouillé presque toutes les observations de spectres de comètes.

Pendant la période suivante, allant de 1907 *d* à 1925 *l*, il est apparu 88 comètes dont 23 ont été étudiées spectroscopiquement.

Ainsi, en résumé, de 1864 *a* à 1925 *l*, sur 292 comètes apparues, on connaît le spectre de 86 d'entre elles. Parmi celles-ci, la comète périodique Encke a été observée six fois au spectroscopie, en 1871, 1875, 1881, 1885, 1914 et 1924, et la comète périodique Brorsen deux fois, en 1868 et 1879. Ce sont les seules comètes périodiques dont la lumière ait été analysée, à ma connaissance, à plus d'une apparition.

Nos progrès dans la connaissance des spectres des comètes se sont faits en trois étapes successives, correspondant chacune à l'emploi d'une méthode nouvelle. Je vais en résumer les traits fondamentaux.

2. *Première étape. Observations visuelles.* — Elle débute le 5 août 1864, avec Donati, à Florence ⁽¹⁾. Cet astronome et ses successeurs employèrent, pour étudier les spectres des comètes, les mêmes instruments qui servaient à l'observation des spectres des étoiles et des nébuleuses. Un spectroscopie à fente (ou à lentille cylindrique, surtout employée par Secchi), à un ou plusieurs prismes, était installé au foyer d'une lunette d'observation ordinaire à faible rapport d'ouverture ($f/15$ à $f/20$, par exemple), et par conséquent peu lumineuse.

Le spectre de la comète était observé *visuellement* et, comme il était très faible, l'observateur donnait à la fente une large ouverture — rarement notée — pour avoir assez de lumière.

Avec ce genre de spectroscopes, Donati découvrit, et ses successeurs confirmèrent, que les comètes brillaient d'une lumière propre qui donnait un spectre de « raies claires » ressemblant « aux spectres produits par les métaux » ⁽²⁾.

A ce spectre discontinu, caractéristique des gaz et vapeurs incandescents, s'ajoutait presque toujours un spectre continu, signalé pour la première fois, le 9 janvier 1866, par W. Huggins ⁽³⁾, dans la comète Tempel (1865 *f*), la seconde observée spectroscopiquement.

⁽¹⁾ *Astronomische Nachrichten*, t. 62, 1864, p. 378.

⁽²⁾ *Ibid.*, p. 378.

⁽³⁾ *Proceedings of the Royal Society*, t. 15, 1866, p. 6.

3. *Spectre de Swan.* — Un peu plus tard, le 23 juin 1868, Huggins identifiait les trois bandes du spectre de la comète Winnecke (1868 *b*) avec celles du spectre de Swan obtenu en faisant éclater une étincelle dans le gaz oléfiant ⁽¹⁾.

La découverte du carbone dans la substance si raréfiée des comètes est des plus remarquables. Elle était inattendue, et fut accueillie diversement, quoique avec un vif intérêt.

Huggins, qui s'est montré un observateur précis dans toutes ces recherches, avait employé une méthode correcte pour l'identification. Il avait juxtaposé l'un au-dessous de l'autre, dans son spectroscopie à deux prismes de 60°, les spectres de la comète et de la source terrestre. Portant principalement son attention sur la bande verte, la plus intense et la mieux définie, il trouva que « la coïncidence a pu être observée d'une manière satisfaisante dans les limites de puissance du spectroscopie » ; et que « l'on peut la considérer comme étant déterminée à environ la distance qui sépare les composantes de la ligne double D » ⁽²⁾.

La certitude d'une coïncidence aussi précise était moindre pour les autres bandes, à cause de leur faiblesse et de la difficulté de voir leurs limites. Néanmoins, Huggins ajoutait ceci : « Nous avons estimé que ces bandes coïncident exactement comme position avec les bandes correspondantes du spectre de l'étincelle. » ⁽³⁾.

La juxtaposition des deux spectres permettait de se rendre compte également des intensités relatives et de la répartition de la lumière dans chaque bande. « L'identité apparente du spectre de la comète avec celui du carbone, continue-t-il, ne réside pas seulement dans la coïncidence des positions des bandes dans le spectre, mais aussi dans la très remarquable ressemblance des bandes correspondantes en ce qui concerne leurs caractères généraux, ainsi que leur éclat relatif. Ceci se reconnaît bien dans la bande du milieu [la bande verte] où la gradation d'intensité n'est pas uniforme. Cette bande, dans les deux spectres, restait d'intensité sensiblement égale pour la même région dans sa longueur. » ⁽⁴⁾.

Enfin, la coïncidence des deux spectres fut contrôlée deux jours après avec un spectroscopie plus dispersif à cinq prismes.

4. *Discordance dans les observations.* — Mais la plupart des observateurs qui étudièrent les comètes suivantes ne paraissent pas avoir employé une méthode d'identification aussi correcte. Au lieu de juxtaposer le spectre de comparaison au spectre de la comète et de les observer tous deux simultanément, ils mesuraient, à l'aide d'un micromètre à gros fils ou à « barres » la position des bandes

⁽¹⁾ *Philosophical Transactions*, t. 158, 1868, p. 559.

⁽²⁾ *Ibid.*, p. 559.

⁽³⁾ *Ibid.*, p. 560.

⁽⁴⁾ *Ibid.*, p. 560.

cométaires, puis celles données par la source terrestre : flamme d'alcool, flamme du bec Bunsen, décharge électrique, qu'on plaçait soit devant l'objectif, soit dans le tube de la lunette par une ouverture *ad hoc*, ou encore sur le côté de la fente.

Cette manière d'opérer entraînait naturellement des erreurs. Et je laisse ici de côté, comme étant négligeables, les déformations instrumentales qui pouvaient survenir entre les deux mesures. N'oublions pas, en effet, que certains étalonnages du micromètre du spectroscope se faisaient dans la journée, avec les raies du spectre solaire, et que plusieurs heures s'écoulaient avant l'observation nocturne.

En fait, la cause d'erreur essentielle provenait du pointé. On occultait la bande à mesurer avec la « barre » du micromètre jusqu'à ne plus apercevoir qu'un mince filet de lumière du côté de l'arête lorsque celle-ci était visible ; ou bien, quand elle ne l'était pas, on bissectait avec un gros fil la partie la plus lumineuse. Certains observateurs, et non des moindres, ont même négligé de nous dire ce qu'ils avaient pointé.

Il en résulta des discordances sur les longueurs d'onde des trois bandes qu'on avait observées dans toutes les comètes apparues. Elles préoccupèrent grandement les observateurs de l'époque et donnèrent naissance à des contestations sur la présence du spectre des « hydrocarbures » (comme on l'appelait alors) à l'exception, bien entendu, de l'identification de Huggins, pour laquelle le doute n'était pas permis.

5. *Discussions. Confirmations du spectre de Swan.* — Respighi, à propos des belles comètes *b* et *c* de 1881, alla même jusqu'à douter de l'existence d'un spectre d'émission, et ne voir, dans les bandes brillantes, qu'un phénomène d'absorption du spectre solaire réfléchi « exagéré dans les comètes à cause de l'énorme épaisseur des couches absorbantes » ⁽¹⁾.

Alors que Zenker ⁽²⁾ admettait comme démontrée la présence constante des « hydrocarbures » dans toutes les comètes, ce qui dépassait manifestement les observations, Vogel, faisant état des petits écarts en longueurs d'onde, émettait en 1873 un avis contraire ⁽³⁾, partagé ensuite par J. Norman Lockyer ⁽⁴⁾. Hasselberg, en 1880, admettant, lui aussi, la réalité de ces écarts, essayait de les reproduire en laboratoire ⁽⁵⁾.

Ces discussions eurent sans doute le mérite d'attirer l'attention des physiciens

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 93, 1881, p. 440.

⁽²⁾ *Astronomische Nachrichten*, t. 79, 1872, p. 324.

⁽³⁾ *Poggendorff Annalen*, t. 149, 1873, pp. 400-408.

⁽⁴⁾ *Nature*, t. 10, 1874, p. 180.

⁽⁵⁾ *Mémoires de l'Académie des Sciences de Saint-Pétersbourg*, série VII, t. 28, 1880, pp. 1-94.

sur les spectres de bandes du carbone et de ses composés, mais elles restèrent stériles quant à leur objet d'expliquer les variations observées dans les spectres cométaires.

Du reste, tous les observateurs ne partageaient pas les mêmes idées sur la réalité de ces déplacements. En 1879, C.-A. Young, plus prudent, fait déjà remarquer, avec juste raison, qu'il semble que « les écarts entre les différents résultats sont entièrement dans les limites des erreurs probables, et qu'il n'y a pas de raison valable pour supposer l'existence de plus d'un seul spectre cométaire, légèrement modifié en différentes comètes par des différences de pression et de température » ⁽¹⁾.

Il aurait, cependant, suffi de reprendre la méthode de comparaison directe des spectres pour résoudre le problème du premier coup à chaque apparition cométaire.

C'est ce que fit Thollon, le 1^{er} juillet 1881, pour le spectre de la comète Cruls, 1881 *b*. Voici ce que dit cet excellent observateur ⁽²⁾ : « Les mesures prises successivement sur les bandes de la comète et sur celles de la flamme d'alcool m'avaient fait conclure à l'identité des deux spectres. Toutefois, la bande verte, la plus brillante, m'avait paru un peu plus réfractée dans la comète que dans la flamme. Pour soumettre le fait à un contrôle décisif, un prisme à réflexion totale fut ajusté sur la fente, de manière à en couvrir la moitié. En juxtaposant les deux spectres, je constatai qu'ils étaient d'une ressemblance frappante lorsqu'ils avaient le même éclat, mais que la bande verte paraissait en effet plus réfractée dans la comète quand le spectre de la flamme était plus brillant. La comparaison faite directement entre les deux spectres, la parfaite coïncidence des bandes me dispense de donner les nombres fournis par mes mesures micrométriques. Ils n'ajouteraient rien à la certitude du résultat. »

6. *Spectres non identifiés.* — Ainsi, peu à peu, se dégagait l'idée que les trois bandes constamment observées dans toutes les comètes devaient appartenir à un même spectre, sous la réserve de petites modifications possibles, dues à des causes physiques.

Cependant, de 1864 à 1881, sur vingt-trois comètes étudiées spectroscopiquement, trois échappèrent à une identification, même approchée. Ce sont les comètes Tempel (1865 *f*), Tempel I (1867 *b*) et Brorsen (1868 *a*). Elles ont présenté aussi trois bandes, mais décalées par rapport aux bandes habituelles. Les observations des deux premières sont peu précises ; il n'en est toutefois pas de même pour la comète périodique Brorsen, fort bien étudiée par Huggins et Secchi.

⁽¹⁾ *American Journal of Science and Arts*, t. 17, 1879, p. 374.

⁽²⁾ *Comptes rendus*, t. 93, 1881, p. 38.

J'en ferai une étude spéciale, après avoir exposé mes recherches sur le troisième groupe négatif du carbone (voir p. 99).

7. *Deuxième étape. Observations photographiques.* — Un nouveau progrès allait être accompli à partir de 1881 par l'utilisation de la photographie.

À la méthode d'observation visuelle, toujours employée, les astronomes ajoutèrent la méthode photographique, grâce aux nouvelles plaques au gélatino-bromure qu'on trouvait dans le commerce. Leur sensibilité surpassait celle du collodion humide, et elles pouvaient rester en châssis pendant la durée d'une très longue pose sans perdre de leurs qualités.

Les spectroscopes se modifièrent en conséquence. On substitua simplement une chambre noire à l'oculaire, après avoir donné à l'ensemble la rigidité nécessaire et ajouté les accessoires indispensables.

Ce fut Huggins, à Upper Tulse Hill (Angleterre) qui réussit, le premier, à photographier le spectre d'une comète ⁽¹⁾. Le 24 juin 1881, il obtint, avec une heure de pose, un bon spectrogramme de la belle comète 1881 *b* qui lui révéla les régions violette et ultra-violette restées jusque-là inexplorées. Le lendemain, il en obtint un second, mais plus faible malgré une pose d'une heure et demie.

Peu de temps après, Henry Draper, de New-York, obtenait trois clichés du spectre de la même comète avec des poses de 180, 196 et 228 minutes ⁽²⁾.

La photographie d'Huggins révélait l'existence du spectre dit du « cyanogène » et de quelques radiations non identifiées vers λ 405. Elle donnait aussi un spectre continu sur lequel se détachaient distinctement les principales raies de Fraunhofer. Huggins venait d'ajouter ainsi une preuve irréfutable — après celle donnée depuis longtemps par la polarisation (Arago, 1819) — de l'existence de la lumière solaire réfléchie par la substance si raréfiée des comètes.

8. *Comètes brillantes. Sodium.* — Le début de cette période fut marqué par l'apparition de cinq comètes brillantes qui furent très étudiées. Ce sont les comètes Cruls-Tebbutt 1881 *b*, Schaeberle 1881 *c*, Wells 1882 *a*, Cruls 1882 *b* et Pons 1883 *b*. Le spectre de deux d'entre elles : 1881 *b* et 1882 *a*, fut photographié.

Les quatre premières, à faible distance périhélie, montrèrent en passant près du Soleil un élément nouveau : le sodium. On constata le dédoublement de la raie D ; et, en comparant directement les deux composantes avec les mêmes raies

⁽¹⁾ *Proceedings of the Royal Society*, t. 33, 1881, pp. 1-3, (avec la reproduction, en lithographie, du positif du spectre de la comète.)

⁽²⁾ *The American Journal of Science*, t. 32, 1881, p. 134. L'auteur ne donne pas la date de ses observations ; il dit seulement que les spectrogrammes furent obtenus après le 24 juin.

données par une source terrestre, Thollon et Gouy ⁽¹⁾, Lohse et Copeland ⁽²⁾, purent déterminer la vitesse radiale de la comète.

Les raies du sodium ont été revues depuis, et même photographiées, dans plusieurs autres comètes. D₂ est plus brillante que D₁.

9. *Spectres divers. Fer (?)*. — Lohse et Copeland ⁽³⁾ signalèrent seuls (sur treize observateurs) l'apparition fugitive de quelques raies brillantes, observées visuellement pendant un quart d'heure, le 18 septembre 1882, dans la comète 1882 b. Ils les attribuèrent au fer car, déplacées par la vitesse radiale de l'astre, elles doubleraient du côté rouge quelques raies sombres de Fraunhofer dues au fer, en particulier la raie E. C'est la seule comète dans laquelle ces radiations aient été signalées.

Quoique la présence du spectre du fer dans une comète passant si près du Soleil ne soit pas invraisemblable, l'étude critique de l'identification de Lohse et Copeland, à laquelle je me suis livré, n'a pas entraîné ma conviction. On peut s'étonner, à juste titre que, sur les cinq raies brillantes vues dans la comète ⁽⁴⁾ et attribuées au fer, trois soient faibles dans l'arc, l'étincelle et le Soleil, alors que d'autres raies du fer, voisines, plus intenses dans le Soleil et l'arc, n'ont pas été signalées. A mon avis, il y a lieu de n'accepter cette identification, donnée comme certaine par ses auteurs, et reproduite un peu partout comme telle, qu'avec une extrême réserve.

Parmi les comètes curieuses au point de vue spectral, je citerai encore la comète Holmes (1892 f), qui présenta presque exclusivement un spectre continu.

Les spectres photographiques des différentes comètes, lorsqu'on a pu les obtenir avec assez d'intensité, ont montré deux groupes de radiations à λ 405 et λ 431, auxquels je consacrerai une étude spéciale (voir p. 53).

10. *Discussion de H. Kayser*. — C'est pendant cette période qu'on acquit la conviction de l'identité entre les bandes classiques des comètes et celles du spectre de Swan terrestre.

H. Kayser ⁽⁵⁾, dans un Mémoire bien connu pour sa clarté et son exactitude, démontra en 1894, que les écarts constatés entre les positions des bandes comé-

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 95, 1882, p. 557 ; t. 96, 1883, p. 371.

⁽²⁾ *Copernicus*, t. 2, 1882, p. 235.

⁽³⁾ *Copernicus*, t. 2, 1882, p. 235.

⁽⁴⁾ Voici leurs longueurs d'ondes : 5 474, 5 428, 5 369, 5 329 et 5 269.

⁽⁵⁾ Ueber den Einfluss des Spaltweite auf das Aussehen der Cometenspectra, *Astronomische Nachrichten*, t. 135, 1894, pp. 1-10. Traduit en anglais dans *Astronomy and Astrophysics*, t. 13, 1894, pp. 367-378.

taire et terrestre étaient d'ordre instrumental et ne dépendaient que de la largeur variable de la fente.

Les nombreuses identifications faites depuis ont confirmé ses conclusions.

Hasselberg ⁽¹⁾ avait supposé, en 1880, que le spectre cométaire était un spectre composite formé par la superposition des bandes de Swan et de quelques bandes d'Ångström ou bandes de « l'oxyde de carbone ». Plusieurs auteurs, en particulier Vogel, adoptèrent cette opinion. Kayser, dans le Mémoire cité, démontra l'inutilité de cette hypothèse complémentaire, contredite du reste par les observations, puisque les autres bandes d'Ångström, tombant en dehors des bandes de Swan, n'ont jamais été observées.

A ce propos, on ne peut que s'étonner de la méthode avec laquelle certains auteurs ont établi leurs identifications. Un spectre est un ensemble de radiations. Il est impossible d'en détacher arbitrairement une ou deux pour les besoins de la cause et de négliger toutes les autres.

Par exemple, on ne peut prendre une bande du spectre de Swan, une du spectre d'Ångström, une du magnésium, une du manganèse, une du plomb, une du fer (?) et reconstituer un spectre de comètes, et encore moins les faire intervenir comme bandes d'absorption, alors qu'aucune de celles-ci n'a été observée dans les spectres cométaires ⁽²⁾.

Je n'insiste pas davantage, dans cet aperçu historique, sur certains détails des observations et des identifications. Ils feront l'objet d'études spéciales au cours du présent Mémoire.

11. *Troisième étape. Prisme-objectif.* — En 1902, M. A. de la Baume Pluvinel eut l'idée de compléter les deux méthodes d'observation précédentes par celle du prisme-objectif déjà utilisée en spectroscopie stellaire. Adoptée depuis dans tous les observatoires, elle a fait faire de grands progrès dans l'étude de la constitution des comètes.

A vrai dire, une tentative infructueuse avait déjà été faite avec ce procédé par H. Draper en 1881. Mais l'instrument dont il s'était servi n'était pas absolument un prisme-objectif, puisque le prisme, au lieu d'être situé devant l'objectif, sur le faisceau de rayons parallèles venant de l'astre, était placé après, et travaillait par conséquent en lumière convergente, dans des conditions moins bonnes.

Dans sa Note sur l'observation de la comète 1881 *b*, Draper dit : « J'essayai ensuite, en interposant un prisme à vision directe entre la plaque sensible et l'objectif, d'obtenir une photographie qui aurait dû montrer le spectre continu

(1) Über die Spectra der Cometen. *Mémoires de l'Académie des Sciences de Saint-Petersbourg*, Série VII, t. 28, n° 2, pp. 1-94.

(2) *Proceedings of the Royal Society*, t. 45, 1889, pp. 157-262 et 25 figures.

du noyau et le spectre de bandes de la chevelure. Après une pose de 85 minutes, une image intense du spectre du noyau, de la chevelure et d'une partie de la queue fut obtenue, mais le spectre de bandes fut masqué par le spectre continu » ⁽¹⁾.

Draper abandonna aussitôt ce dispositif qui n'était, du reste, pas nouveau. Avant lui, plus d'un observateur avait regardé l'image focale d'un astre formée au foyer d'une lunette en interposant un prisme sur le trajet des rayons lumineux, en avant du foyer. Le spectre ainsi obtenu était connu sous le nom de « spectre intégral ».

Thollon et Gouy observèrent, par ce dernier procédé, la comète 1882 *b* le 16 octobre 1882 et les jours suivants ⁽²⁾. Comme dans l'observation de Draper, le spectre continu intense masqua les bandes aisément visibles cependant avec un spectroscopé à fente.

12. *Instrument de M. A. de la Baume Pluvinel.* — Telles sont les deux seules tentatives dont j'ai pu avoir connaissance. On voit qu'elles n'ont pas donné de résultats.

L'instrument employé par les deux observateurs n'était pas adapté à ce genre de recherches. C'est M. A. de la Baume Pluvinel qui, par une étude attentive de la question ⁽³⁾, aboutit à l'emploi d'un instrument très lumineux, à court foyer, dont l'usage s'est tant répandu depuis.

Le premier cliché réussi se rapporte au spectre de la comète 1902 *b*. Il fut obtenu le 24 octobre 1902 avec une heure de pose ⁽⁴⁾. Ensuite, la comète 1903 *c* a été étudiée avec le même appareil, mais les résultats n'en ont jamais été publiés.

Puis, la comète 1904 *a* fut analysée au prisme-objectif par E.-C. Pickering ⁽⁵⁾.

Ces trois comètes étaient faibles ; leurs spectres n'ajoutèrent rien de bien nouveau à nos connaissances.

Il fallut attendre ensuite jusqu'en 1907 pour retrouver une comète assez brillante. C'est par elle que débudent les recherches exposées dans ce mémoire.

13. *Résumé des connaissances acquises en 1907.* — De l'ensemble des travaux qui viennent d'être brièvement résumés, et qui s'étendent de 1864 à 1907, il résulte que les comètes ont montré :

1^o Un spectre continu d'intensité très variable, parfois si faible qu'il a échappé aux observateurs, d'autres fois si intense qu'il a masqué les bandes. Il a, le plus

⁽¹⁾ *The American Journal of Science*, 3^e série, t. 22, 1881, p. 134.

⁽²⁾ *Comptes rendus*, t. 95, 1882, p. 713.

⁽³⁾ *Comptes rendus*, t. 136, 1903, p. 743.

⁽⁴⁾ *Ibid.*, p. 744. Il fut posé par MM. H. Chrétien et A. Senouque.

⁽⁵⁾ *Astronomische Nachrichten*, t. 165, 1904, p. 159.

souvent, présenté les raies de Fraunhofer. Quelquefois celles-ci n'ont pas été observées, malgré l'intensité du spectre continu, dans les comètes qui sont passées très près du Soleil. Le noyau stellaire a donné le spectre de la lumière solaire réfléchie.

2^o Un spectre d'émission observable dans toute la chevelure et dans lequel on a presque toujours vu les bandes de Swan et toujours photographié ces mêmes bandes ainsi que celles dites du « cyanogène ». A ces éléments constants se sont très souvent ajoutées des radiations non identifiées à λ 405 et λ 431, provenant du noyau, et les raies D du sodium lorsque l'astre s'est suffisamment rapproché du Soleil. Mais on n'a jamais signalé les raies de l'hydrogène, de l'hélium, du nébulium, du coronium, de l'aurore. Les raies de l'hydrogène ont été spécialement recherchées visuellement sans aucun succès.

14. *Le spectre des queues des grandes comètes.* — Il est essentiel de faire remarquer, dès maintenant, que les observations n'ont porté, dans la presque totalité des cas, que sur la *tête* des comètes composée du noyau et de la chevelure et non sur la queue, presque toujours trop faible. C'est, du reste, la raison pour laquelle M. de la Baume Pluvinel employa le prisme-objectif qui peut donner beaucoup de lumière.

Le spectre de la queue n'a été étudié, avant 1907, qu'en de rares occasions. Par queue, j'entends la partie de la comète déjà assez éloignée du noyau pour qu'il n'y ait pas de confusion possible avec la chevelure. Sinon l'enregistrement spectral donnera surtout le spectre de cette dernière dont l'intensité est, en général, bien supérieure à celle de la queue.

C'est pour ne pas avoir fait cette distinction, assez naturelle en elle-même, qu'un certain nombre d'auteurs ont déclaré avoir étudié le spectre de la queue alors qu'ils n'avaient observé en fait que celui de la chevelure à quelques minutes seulement du noyau. La lecture des mémoires est, à cet égard, des plus suggestives.

En réalité, il n'y a que les queues des belles comètes de 1881 et 1882, dont le spectre a pu être observé à une assez grande distance, difficile du reste à préciser, personne n'ayant donné de nombre. On les a vues en lumière monochromatique du sodium, se superposant à un spectre continu assez intense, lorsqu'elles sont passées près du Soleil.

Dans toutes les autres comètes, le spectre de la queue est resté inconnu. Et cependant, c'est là la connaissance de cet élément primordial qui permettra de dire dans quelle mesure les théories cométaires existantes, dont la plus célèbre est, à juste titre, celle de Bredichin, se trouvent vérifiées.

Le spectre des deux grandes comètes de 1882 a subi des variations importantes au périhélie : les bandes de Swan, après avoir été observées assez loin du

noyau, dans la queue, se sont considérablement affaiblies lorsque le sodium s'est développé. Les phénomènes se sont succédés en sens inverse après le passage au périhélie.

II. — SPECTRES POUR L'IDENTIFICATION

15. *Spectres du carbone.* — Comme il existe plusieurs dénominations pour désigner les mêmes groupes de bandes du carbone et de ses composés, il est nécessaire de préciser, dès maintenant, celles qui seront employées au cours de ce Mémoire.

L'ambiguïté porte principalement sur le spectre de flamme des hydrocarbures. On divise actuellement les bandes qu'ils donnent en deux groupes, l'un appelé : premier groupe positif du carbone ou bandes de Swan ⁽¹⁾ et l'autre : groupe des hydrocarbures (C + H) ⁽²⁾. Le terme : spectre des hydrocarbures, qui a été pendant longtemps employé pour désigner les deux groupes, ainsi que les bandes des comètes, tombe en désuétude. J'adopterai donc cette division en deux groupes de bandes qui correspond, du reste, à une réalité physique.

16. *Longueurs d'onde de quatre groupes de bandes.* — Les tableaux suivants donnent les longueurs d'onde des arêtes des principales bandes de quatre groupes du carbone, tels qu'on les obtient avec une petite dispersion de manière à se trouver dans les mêmes conditions que pour les spectres des comètes.

Quoique le quatrième groupe, ou bandes d'Ångström, n'ait jamais été observé dans aucun spectre de comètes, il n'est pas inutile, pour servir à l'historique de la question, de donner ici ses bandes caractéristiques.

Les longueurs d'onde adoptées sont des valeurs moyennes calculées d'après les diverses déterminations reproduites dans le *Traité de spectroscopie* de Kayser. La précision donnée est suffisante pour l'identification.

TABEAU I

Premier groupe positif du Carbone ou bandes de Swan (C).

Dégradées vers le violet.

C I	C II	C III	C IV	C V
6191,1	5635,4	5165,4	4737,2	4380,9
6121,8	5585,5	5129,5	4715,4	4371,1
6059,9	5540,9	5101,0	4697,6	4364,3
6005,1	5500,0	5081,9	4684,6	
5958,2	5470,0		4680,2	

Les longueurs d'onde des premières bandes sont données d'après Fowler

⁽¹⁾ H KAYSER, *Handbuch der Spectroscopie*, t. V, 1910, p. 226 et t. VII, 1923, p. 139.

⁽²⁾ *Ibid.*, t. V, 1910, p. 231.

(WATTS, *Index of Spectra*, Appendix V, 1913, p. 67). Watts, en 1906, ainsi que Eder et Valenta, en 1898, donnent, pour ces premières bandes, des valeurs différentes : 6188,1, 6120,0, 6052,0, 5999,0 et 5955,0.

Le III^e groupe à λ 5165 (vert) est le plus intense visuellement. C'est lui qui s'observe le plus aisément dans les comètes.

Le IV^e groupe à λ 4737 (bleu) est le plus intense photographiquement.

TABLEAU II

Bandes des hydrocarbures (C + H).

Eder a distingué quatre groupes ϵ , ζ , η , θ , auxquels Fortrat (1) en a ajouté un cinquième intense, mais noyé dans le groupe dit « de la vapeur d'eau » à λ 3064.

ϵ Dégradée vers le rouge et le violet	{	4395	Apparition de très faibles raies des suites I et II.
		4360	Début de la suite III.
		4324	Ligne double intense.
		4318	Lacune remarquable dans le spectre.
ζ Dégradée vers le violet.	{	4314,26	Tête de bande intense, suite V.
		4280	Début de la suite IV.
		4160	Les doublets des suites I et II vont en s'affaiblissant jusqu'ici.
μ Dégradée vers le rouge	{	4037	Première raie d'une belle bande à raies espacées (2).
		3890	Tête de bande.
		3871	Tête de bande.
θ Dégradée vers le rouge	{	3687	
		à	Très faibles têtes.
		3628	
(Fortrat) Dégradée vers le rouge	{	3207	Début de la branche P.
		3143	Tête intense, origine de la branche Q.
		3095	Fin de la branche R.

La bande caractéristique est à λ 4314. Lorsque le spectre est faible on ne voit plus que cette tête.

Groupes dits du « Cyanogène » (Gy).

Ces bandes doivent être divisées en deux groupes que j'appellerai respectivement : spectre rouge et spectre violet du cyanogène. Chacun comprend un groupe de bandes ayant son individualité propre.

(1) *Comptes rendus*, t. 178, 1924, p. 1272.

(2) D'après mes spectrogrammes.

1. *Spectre rouge*. — Il est formé de nombreuses bandes dégradées vers le rouge. Généralement très faible par rapport au spectre violet, dans les sources habituelles : flamme, tube à vidé, arc, il peut acquérir une forte intensité avec l'azote actif ⁽¹⁾. Il a été étudié par MM. A. Fowler et H. Shaw qui en ont donné une description détaillée ⁽²⁾. Chaque bande se résout en trois têtes lorsqu'on emploie une dispersion suffisante ; mais, dans le cas de l'identification des spectres cométaires, toujours obtenus avec une faible dispersion, il suffit d'envisager la bande non résolue et de donner la longueur d'onde de la tête du milieu qui correspond, à peu près, au maximum d'intensité.

Dans la plupart des mémoires, on désigne le spectre rouge par Cy I.

Le tableau suivant est un résumé du Tableau I du mémoire de MM. Fowler et Shaw. Les intensités des bandes dans l'arc et dans la flamme sont à peu près les mêmes, mais les bandes données par l'arc sont plus diffuses avec une faible dispersion.

TABLEAU III

Spectre rouge du cyanogène.

λ	Intensités			λ	Intensités		
	Flamme	Tube à vide	Azote actif		Flamme	Tube à vide	Azote actif
7273*				5742.....		1	1
7110*				5619.....		2	2
6946.....	2	2	1	5611.....	3	3	4
6810.....	< 1	2	3	5486.....	2	5	5
6649.....	4	9	7	5366.....	2	4	6
6495.....	9	10	10	5251.....	2	3	5
6449.....		1	1	5168.....			1
6348.....	10	9	6	5140.....			1
6294.....		1	2	5054.....		1	1
6207.....	6	4	1	4946.....	1	2	3
6147.....	< 1	3	3	4842.....	1	?	
6007.....	2	6	6	4795.....			1
5872.....	2	9	9	4742.....			2
5743.....	5	7	7	4691.....			2

* Observations visuelles.

⁽¹⁾ R. J. Strutt et A. Fowler. Spectroscopic Investigations in Connection with the Active Modification of Nitrogen. — II. Spectra of Elements and Compounds excited by the Nitrogen. *Proceedings of the Royal Society A*, t. 86, 1911, pp. 105-117, 1 planche.

⁽²⁾ A. Fowler et H. Shaw. The less Refrangible Spectrum of Cyanogen and its Occurrence in the Carbon Arc. *Proceedings of the Royal Society A*, t. 86, 1911, pp. 118-130, 1 planche.

II. *Spectre violet*. — Il est formé de cinq groupes de bandes dégradées vers le violet.

TABLEAU IV

Spectre violet du cyanogène.

Cy II	Cy III	Cy IV	Cy V	Cy VI
4606,3	4216,1	3883,1	3590,3	3360,1
4578,2	4197,2	3871,4	3585,8	
4553,3	4181,0	3862,1	3583,7	
4532,1	4167,8	3854,7		
4515,0	4158,2	3850,9		
4502,4				

Le groupe caractéristique est le IV^e à λ 3883,1.

Le VI^e groupe ne se trouve pas dans l'arc (Deslandres).

Lorsque l'observation se rapportera au groupe violet, le terme Cy seul sera employé.

*Deuxième groupe positif du Carbone, ou spectre de l'Oxyde de Carbone,
ou bandes d'Ångström.*

Voici les longueurs d'onde des principales têtes de bandes dégradées vers le violet : λ 6622, 6299, 6079, 5818, 5610, 5399, 5198, 5016, 4835, 4511, 4393, 4123, 3893

CHAPITRE II

OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES

I. — LA COMÈTE DANIEL (1907 d).

17. *La comète Daniel.* — La méthode du prisme-objectif, appliquée à trois comètes trop faibles apparues entre 1902 et 1904, n'avait pas encore donné de résultats bien nouveaux, comme nous l'avons vu. Il fallait attendre l'apparition d'un astre assez brillant et à queue suffisamment développée pour en faire l'essai dans de bonnes conditions. Ce fut la comète Daniel qui, en 1907, en fournit l'occasion. Elle atteignit la 2^e grandeur vers la fin août, époque du passage au périhélie, et l'on put suivre alors sa queue sur une longueur de 23°. Elle n'était cependant pas très bien placée pour les observations spectrales, à cause de sa proximité de l'horizon un peu avant le lever de l'aurore.

18. *Nos observations.* — M. de la Baume Pluvinel avait repris le prisme-objectif qui lui servit en 1902 et 1903. L'instrument comprenait un objectif à portrait 3 B Dallmeyer, de 8 centimètres d'ouverture et 30 centimètres de distance focale. Devant lui on pouvait placer, soit un prisme en flint de 20°18' donnant une dispersion de 2^{mm},2 entre F et H, soit un prisme en flint de 60° donnant une dispersion de 10^{mm},9 entre les mêmes raies.

Nous installâmes cet appareil sur l'équatorial de 0^m,19 de l'Observatoire de la Société Astronomique de France, rue Serpente, à Paris, d'où l'on domine assez bien l'horizon.

Trois plaques furent prises, mais une seule est bonne : celle du 15 août 1907, obtenue avec le prisme de 20° sur plaque Wratten Pinacyanol, de 2^h16^m à 3^h18^m (T. U.). On y voit le spectre de la comète de λ 388 à λ 670 m μ ⁽¹⁾. Il a été étalonné, de part et d'autre, avant et après la pose, avec β Cocher.

⁽¹⁾ La trop petite dispersion du spectre ne permet pas de donner les longueurs d'onde en unités d'Ångström.

Ce spectre, dans lequel on reconnaît au premier coup d'œil les radiations caractéristiques des comètes avec leurs intensités relatives habituelles, offre, dans le rouge, une bande intense remarquable qui ne put être identifiée à l'époque, si bien qu'il ne fut l'objet d'aucune publication. Mais, au cours de mes recherches sur les spectres de bandes des comètes, j'en ai repris l'étude en vue de déterminer la position exacte et l'origine de la bande énigmatique.

Fort heureusement pour cette étude tardive, je disposais de deux plaques d'étalonnage obtenues en 1907, l'une sur Altaïr, et l'autre, beaucoup plus importante pour l'objet de ces recherches, sur le Soleil et l'arc au charbon. Pour obtenir ces deux spectres qui sont contigus, le prisme-objectif, formant un tout rigide et compact, avait été transporté au laboratoire de M. de la Baume Pluvinel sans être démonté. Un collimateur à fente assez large avait été placé devant l'instrument. Les deux clichés d'étalonnage furent photographiés sur des plaques de la même boîte que celles ayant servi pour la comète et développées de la même manière. Elles sont donc toutes comparables entre elles.

19. *Résultats.* — J'ai mesuré le cliché avec la machine de l'Observatoire de Meudon, conjointement avec les spectres de comparaison, ne m'arrêtant qu'aux images dont l'existence ne saurait être révoquée en doute. Sur des épreuves aussi petites, les agglomérations accidentelles des grains de la plaque ont une certaine importance, et l'on ne saurait être assez sévère dans l'élimination de tout ce qui ne présente pas un caractère d'évidence incontestable. La même prudence a, du reste, toujours été observée dans les mesures que j'ai exécutées sur les clichés de spectres des autres comètes, les pointés douteux étant toujours mis en évidence lorsque j'ai cru devoir les retenir.

Alors que la courbe de dispersion se détermine facilement à partir du bleu, en allant vers le violet, grâce aux raies de l'hydrogène stellaire, il est plus difficile de la tracer dans le rouge à cause de la rareté des repères. Je n'ai disposé que des trois raies H_α , D et H_β , et les longueurs d'onde dans cette région du spectre, toutes comprises dans l'intervalle H_α - H_β , ont été relevées sur une courbe.

La bande rouge commence par une condensation dont le centre est à λ 665. On y distingue ensuite deux maxima presque confondus à λ 648 et λ 635 ⁽¹⁾. Puis elle diminue d'intensité et se termine sur le fond continu par une condensation à λ 574.

Il est difficile de décider si elle se prolonge dans la queue, parce que celle-ci a donné un léger spectre continu, sur un demi-degré de longueur à partir du noyau, et les radiations trop faibles peuvent être masquées. On peut affirmer cependant que si la bande s'y trouvait, ce n'était qu'à l'état de traces. On peut aussi remar-

(1) Ils sont invisibles sur la reproduction en similigravure, fig. 1.

qu' que la répartition des intensités dans le spectre continu de la queue est sensiblement la même que dans le spectre solaire de la plaque d'étalonnage.

20. *La bande rouge.* — Placée dans une région peu sensible de la plaque, la bande rouge est cependant venue avec une intensité supérieure à celle de l'image ultra-violette du cyanogène et presque égale à celle de l'image bleue du spectre de Swan. Il semble donc qu'elle ait dû être assez intense visuellement. Cependant elle a échappé aux observateurs qui ont examiné le spectre de la comète à l'oculaire. M. W.-W. Campbell n'a vu que les trois bandes habituelles, jaune, verte et bleue du spectre de Swan sur un fond continu assez brillant ⁽¹⁾. M. A. Belopolsky a cependant remarqué l'intensité du spectre dans le rouge ⁽²⁾. Il signale que, le 24 août, le spectre continu assez brillant « s'étendait loin dans le rouge », et le 29 août : « Le spectre continu est brillant, on le voit bien à l'extrémité du rouge. » Mais il n'a pas reconnu que cette visibilité était due à la bande d'émission révélée par notre photographie.

Aucun observateur, à ma connaissance, ne l'a enregistrée photographiquement, parce que la sensibilité des plaques employées ne s'étendait pas jusqu'au rouge. Le spectre qui s'étend le plus loin vers les grandes longueurs d'onde en dehors du nôtre, est celui de M. Campbell. Obtenu sur plaques Cramér isochromatiques, il s'arrête vers λ 564, et n'atteint pas, par conséquent, la bande rouge dont la radiation la plus réfrangible ne se rencontre qu'à λ 574.

Il est difficile d'identifier cette bande avec les radiations rouges notées parfois dans quelques comètes, faute de documents suffisants. Nous savons, par exemple, que Tacchini observa une radiation à λ 677 — il fut du reste le seul — dans la grande comète Coggia (1874 c) ⁽³⁾. La bande C. I du spectre de Swan à λ 619 a été assez souvent observée visuellement, mais elle ne saurait être confondue avec la bande de la comète Daniel. Depuis, MM. Slipher et Lampland ont noté une condensation à λ 630 $\pm$ dans la comète de Halley (1909 c) ⁽⁴⁾. M. W.-H. Wright a vu la même condensation à λ 630 dans la comète Brooks (1911 c) ⁽⁵⁾.

21. *Son identification avec le spectre du cyanogène.* — La dispersion si petite dans le rouge rend l'identification assez délicate. Cependant, en rapprochant le spectre de la comète du spectre de l'arc au charbon, donné par la plaque de comparaison, on constate que le groupe des bandes rouges de l'arc, qui sont à peine séparées sur notre cliché, coïncide avec la bande de la comète, non seulement en

⁽¹⁾ *Astrophysical Journal*, t. 28, 1908, pp. 229-236.

⁽²⁾ *Pulkowo Mitteilungen*, t. 2, 1907, pp. 119-121.

⁽³⁾ *Memorie della Società degli Spettroscopisti italiani*, t. 3, 1874, p. 79.

⁽⁴⁾ *Lowell Observatory, Bulletin* n° 52, t. 2, 1911, pp. 3-16.

⁽⁵⁾ *Lick Observatory*, t. 7, 1912, pp. 8-16.

position, mais aussi, ce qui n'est pas moins important à noter, dans les intensités relatives de leurs points correspondants. C'est ainsi que les deux bandes contiguës les plus intenses situées dans l'arc à $\lambda 649$ et $\lambda 634$, se retrouvent dans les maxima de la comète à $\lambda 648$ et $\lambda 635$.

La figure 1 montre cette correspondance. Le spectre de la comète et le spectre de l'arc au charbon ont été agrandis sur papier (agrandissement = 10). Puis le spectre de l'arc a été collé de part et d'autre de celui de la comète ; le tirage en positif a même été fait avec deux intensités légèrement différentes pour faciliter

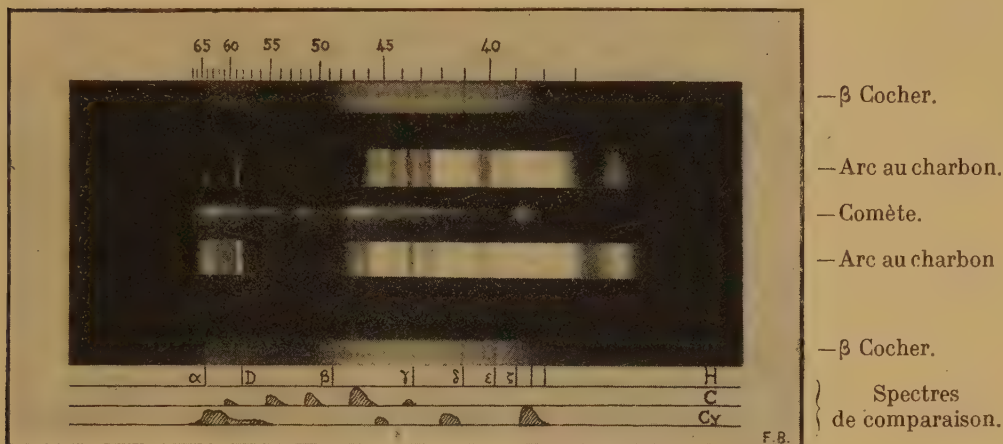


Fig. 1. — Spectre de la comète Daniel (1907 d), par MM. A. de la Baume Pluvinel et F. Baldet, obtenu le 15 août 1907, au prisme-objectif (Agr. = 10).

la comparaison. On remarquera que les images bleues et violettes du cyanogène dans l'arc, très opaques sur le négatif, sont représentées sur le positif par des plages blanches, larges et diffuses, sans détails. On distingue cependant H et K et la bande bleue du spectre de Swan.

Quant à l'origine des bandes rouges de l'arc, elle a été déterminée par MM. A. Fowler et H. Shaw dans leurs belles recherches sur «Le spectre le moins réfrangible du cyanogène et sa présence dans l'arc au charbon », publiées en 1912 ⁽¹⁾. Ils les ont identifiées avec celles du *spectre rouge du cyanogène*. Ce dernier peut, dans certaines conditions d'excitation, acquérir une forte intensité par rapport au spectre violet, en particulier lorsqu'on l'obtient dans l'azote actif comme l'ont montré MM. R.-J. Strutt et A. Fowler ⁽²⁾. Il s'étend alors jusque dans le bleu.

⁽¹⁾ *Proceedings of the Royal Society*, A. t. 86, 1912, pp. 118-130, planche 7.

⁽²⁾ *Proceedings of the Royal Society* A, t. 86, 1912, pp. 105-117, planche 6.

On peut donc en conclure que la bande rouge de la comète Daniel paraît avoir eu pour origine le groupe de bandes rouges du cyanogène tel qu'on l'observe dans l'arc, mais développé avec une intensité exceptionnelle.

Je ne présente pas cette conclusion d'une manière plus affirmative parce que le spectre est tout petit, mais je la considère comme très probable.

22. *Remarques sur ce spectre.* — Du reste, la présence du spectre rouge du cyanogène dans une comète n'a rien qui puisse nous surprendre, mais seulement son intensité exceptionnelle. On a toujours observé, en effet, que le spectre rouge accompagnait invariablement le spectre violet mais en restant, en général, beaucoup moins brillant, comme on le voit sur le spectre de l'arc (fig. 1).

Il apparaît donc, qu'aussi bien d'après les spectres de laboratoires que d'après celui de la comète Daniel, si mon identification est exacte, il y ait lieu de séparer le spectre dit du *cyanogène* en deux groupes distincts. Liveing avait déjà fait cette remarque en 1904 ⁽¹⁾. Il supposait même que les bandes de grandes longueurs d'onde devaient appartenir à un autre composé que les bandes de courtes longueurs d'onde, ce qui n'est peut-être pas nécessaire. On peut tout aussi bien admettre qu'on se trouve en présence de deux modes vibratoires de la même molécule dépendant de la disposition de ses électrons. Tout ce que l'expérience indique c'est qu'ils sont en partie indépendants. Il est donc juste de faire la distinction signalée entre le spectre rouge et le spectre violet, comme on l'a fait pour le spectre de combustion des hydrocarbures que l'on a divisé en spectre de Swan ou du carbone et groupe des hydrocarbures.

23. *Longueurs d'onde.* — Quant aux autres radiations présentes dans le spectre de la comète, la plupart sont connues et s'identifient aisément avec le spectre de Swan et le spectre violet du cyanogène, comme on le verra dans le tableau récapitulatif suivant.

⁽¹⁾ *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* (5), t. 12, 1904, pp. 337-348.

TABLEAU V

Spectre de la comète Daniel (1907 d).

Int.		Description	Identification
6	665	Condensation, début d'une bande ..	Cy I { 664 649 634 C I (?) : 619 à 595
9	648	Maximum d'intensité	
9	635	Maximum d'intensité	
6	574	Condensation, fin de la bande	574
4	565 à 536	Bande, maximum à 555	C II, 564-542.
5	517 à 503	Bande, maximum à 511	C III, 517-508.
1	498	Noyau	Non identifiée.
2	486	Noyau diffus	Non identifiée.
10	472	Début d'une bande, maximum à 468	C IV, 474-468.
6	460 à 450	Bande	Cy II, 461-450.
1	455	Faible queue sur 20' environ	C 3 ^e gr. nég. 457-454 (A, + 1).
2	438	Condensation un peu diffuse	C V (?), 438-436.
2	434 à 426	Noyau seulement	Non identifiée.
1	427	Faible queue sur 20' environ	C 3 ^e gr. nég. 427-425 (A, 0).
3	421 à 413	Bande	Cy III, 422-415.
3	408 à 398	Noyau seulement	Non identifiée.
1	402	Faible queue sur 15' environ	C 3 ^e gr. nég. 402-400 (A, — 1).
1	391	Noyau	Non identifiée.
5	388	Milieu d'une image de la tête	Cy IV, 388-385.

Un spectre continu, interrompu à l'emplacement des raies solaires H et K, se superpose à toutes ces radiations.

24. *Spectre de la queue sur nos plaques.* — La comète Daniel a été importante aussi à un autre point de vue : on y a découvert un nouveau spectre particulier à la queue, obtenu seulement sur les épreuves prises au prisme-objectif. C'est donc de cette comète qu'il faut faire dater le premier succès de la méthode de M. de la Baume Pluvinel.

Sur notre meilleure épreuve, le spectre continu de la queue est faible, comme je l'ai déjà dit. Une étude attentive y décèle trois légers renforcements diffus. Leurs longueurs d'onde moyennes sont : λ 455, λ 427 et λ 402. On distingue les deux premiers sur une longueur de 20' à partir du noyau, et le dernier sur 15' seulement. Il y a peu de doute qu'on se trouve devant des images diffuses de la queue. Leur origine, à l'époque, était inconnue.

Nos observations faites, le matin, à une centaine de mètres des bords de la Seine, dans un ciel légèrement brumeux, ne donnent que très imparfaitement le spectre de la queue dont la faible lumière était en grande partie absorbée par

cette brume. Mais il n'en a pas été de même ailleurs où d'autres observateurs, munis également de prismes-objectifs, ont été favorisés par la transparence de l'atmosphère. C'est de leurs résultats qu'il va être question.

25. *Spectre de la queue observé à Meudon, Göttingue, Nice et Kodaikanal.* — MM. H. Deslandres et A. Bernard ont été les premiers à annoncer la découverte de bandes appartenant à la queue ⁽¹⁾. Ils avaient monté, à l'Observatoire de Meudon, deux prismes-objectifs, l'un en flint et l'autre en quartz. Sur l'épreuve du 20 août, obtenue avec l'appareil en flint (prisme de 60°, objectif à portrait $f = 21$ centimètres, ouverture $= \frac{f}{4,4}$), ils ont constaté l'existence de bandes faibles, de λ 458 à 452, de λ 429 à 423, de λ 404 à 400, qui offrent une particularité très curieuse. Ces bandes faibles se prolongent dans la queue jusqu'à 45 minutes d'arc du noyau, alors que les fortes restent confinées près de ce même noyau et la dernière est la plus faible ⁽²⁾. Les auteurs ajoutent :

« Autrement dit, la queue aurait un spectre spécial qui n'est plus le spectre ordinaire des hydrocarbures, et qui donc diffère du spectre relativement intense émis par le noyau et la tête. Ce résultat ne s'applique encore qu'à la région du spectre photographiable avec les plaques ordinaires, qui s'étend du bleu à l'ultra-violet.

« L'origine chimique de ces bandes faibles n'a pu être précisée. » ⁽³⁾.

Peu de temps après la publication de cette Note, le 12 septembre 1907, les résultats des observations faites par M. Hans Rosenberg, à Göttingue, avec un prisme-objectif en verre U.-V., paraissaient aux *Astronomische Nachrichten* ⁽⁴⁾. L'auteur ne signale pas expressément les trois images de la queue découvertes par MM. Deslandres et Bernard, mais il remarque sur son épreuve du 9 août des images de la queue s'étendant sur 20' dont deux à λ 423 et λ 404 paraissent être les mêmes que celles situées à λ 426 et λ 402 sur l'épreuve de Meudon.

Ensuite, M. H. Chrétien, dans une Note parue aux *Comptes rendus* le 23 septembre 1907 ⁽⁵⁾, confirme et complète les résultats de Meudon. Opérant avec un

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 145, 26 août 1907, pp. 445-448.

⁽²⁾ Ici les auteurs expliquent, en renvoi, que « la largeur de toutes ces bandes, pour la commodité, est donnée en longueurs d'onde ; mais elle est complexe, car elle comprend, outre la largeur de la raie ou de la bande dans le spectre normal, la largeur de la comète ou de la portion de la comète qui émet la radiation. En réalité le milieu de la bande ainsi représentée a seul une signification précise. Les milieux des trois bandes de la queue sont, en longueurs d'onde, λ 455, λ 426 et λ 402. (*Comptes rendus*, t. 145, 26 août 1907, p. 447.)

⁽³⁾ *Ibid.*, pp. 447-448.

⁽⁴⁾ *Astronomische Nachrichten*, t. 175, 12 sept. 1907, pp. 401-402. Le manuscrit est daté du 26 août 1907.

⁽⁵⁾ *Comptes rendus*, t. 145, 23 sept. 1907, pp. 549-551.

prisme-objectif de plus grandes dimensions (prisme de 62° , objectif $f = 47$ centimètres, $d = 10$ centimètres; ouverture $= \frac{f}{4,7}$) qui lui donnait une dispersion environ deux fois plus grande, il observe les trois bandes et note, en outre, qu'elles sont nettement doubles. Voici les positions indiquées d'après le cliché du 18 août 1907 :

a) 401,2 et 402,0 (moy. 401,6). Condensations assez faibles, mais étendues jusqu'à $1^\circ 30'$ dans la queue sous forme de lignes fines et parallèles.

b) 425,8 et 427,5 (moy. 426,7). Couple identique à a) ; lignes plus nettes et plus longues.

c) 450,3 et 454,2 (moy. 452,2). Couple semblable à a) et b), moins net et moins long.

Enfin, M. John Evershed ⁽¹⁾, observant à Kodaikanal (Indes) avec un prisme-objectif en crown (2 prismes de 60° en crown, ouverture effective $= 4^{\text{cm}},2$ et objectif photographique d'environ 60 centimètres de foyer) obtint, le 28 août, « une série d'images monochromatiques de la queue, dont les longueurs d'onde approchées sont : λ 358, 369, 378, 401, 426, 455. Ces radiations ne sont pas spécialement brillantes dans le noyau de la comète, mais elles s'étendent de $0^\circ,5$ à $1^\circ,5$ dans la queue » ⁽²⁾.

Telles furent les premières observations de ce spectre si remarquable des queues qui ne put être identifié alors avec aucun spectre connu, ni de lignes, ni de bandes.

On voit, en résumé, et pour fixer ce point d'histoire, que les premières mentions du spectre des queues ont été faites explicitement dans trois Observatoires : 1^o par MM. Deslandres et Bernard, à Meudon, qui révèlent, le 26 août, l'existence des trois principales images à λ 455, 426 et 402 ; 2^o par M. Chrétien, à Nice, qui confirme, le 23 septembre, leur présence et ajoute que chacune d'elle est double ; et 3^o par M. Evershed à Kodaikanal qui ajoute, le 8 novembre, trois autres radiations dans l'ultra-violet à λ 358, 369, 378 appartenant au même spectre comme on le verra plus loin.

26. *Les raies du sodium.* — MM. Slipher et Lampland ont obtenu un spectrogramme de cette comète ⁽³⁾ montrant les raies d'émission D du sodium, confinées dans le noyau, alors que l'astre se trouvait à la distance 0,75 du Soleil. C'est la seule observation de cet élément qu'on possède dans une comète aussi éloignée du Soleil.

⁽¹⁾ *Monthly Notices*, t. 68, 8 novembre 1907, pp. 16-18.

⁽²⁾ *Ibid.*, pp. 16-17.

⁽³⁾ *Lowell Observatory Bulletin*, t. 2, 1911, p. 15.

II. — LA COMÈTE MOREHOUSE (1908 c).

27. *Nos observations.* — La comète Morehouse, découverte le 1^{er} septembre 1908, a été la plus remarquable qui soit apparue au ciel, au point de vue de l'étude du spectre des queues, depuis 1864. Et cependant elle est restée presque toujours télescopique. Au maximum de son éclat, elle a atteint la 5^e 1/2 grandeur. Mais si, visuellement, elle resta toujours faible, il n'en fut pas de même photographiquement. Avec des poses relativement courtes on obtint, dès le début, des images intenses, révélant une queue étendue, de structure compliquée et rapidement changeante.

Alors que la comète Daniel, riche en radiations peu réfrangibles et belle à l'œil nu fut, si l'on peut dire, une comète jaune, la comète Morehouse, éminemment actinique, pourrait s'appeler une comète bleue.

M. F. Quénisset, astronome à l'Observatoire de Juvisy, nous informa, dès ses premières épreuves, en septembre 1908, de l'intérêt que l'astre présentait pour la photographie. Nous pensâmes que l'on pouvait tenter d'en obtenir le spectre au prisme-objectif. Mais l'expérience acquise l'année précédente avec la comète Daniel, dont nous n'avions pu obtenir que bien faiblement le spectre de la queue, à cause des brumes de Paris, nous conduisit à nous installer en dehors de la ville. M. Camille Flammarion eut l'extrême obligeance de mettre son Observatoire à notre disposition, et je montai successivement les trois prismes-objectifs de M. de la Baume Pluvinel sur l'équatorial de 0^m,24 de Juvisy.

L'équatorial portait en outre plusieurs appareils pour les photographies d'aspect ⁽¹⁾.

Le temps exceptionnellement beau pendant l'automne de 1908, et la déclinaison boréale très élevée de la comète — elle resta assez longtemps circumpolaire — nous permirent d'étudier son spectre exceptionnel dans des conditions très favorables. Aidé par M. Quénisset qui partagea avec moi les longues heures de pose, j'obtins en tout 28 négatifs, représentant une exposition totale effective de 72 heures 49 minutes. Les poses ont été, en général, de trois à quatre heures, une plaque a même été exposée pendant sept heures, en deux nuits.

28. *Résultats définitifs. Identification complète du spectre des queues. Longueurs d'onde.* — Les résultats des recherches effectuées par M. de la Baume Pluvinel

(1) Ces photographies, qui présentent également de l'intérêt pour la compréhension des images données par le prisme-objectif, ont été faites avec M. Quénisset. Nous en avons obtenu 96, représentant au total 88 heures 11 minutes de pose effective. Les résultats ont été publiés aux *Comptes rendus*, t. 147, 1908, p. 1033 et au *Bulletin de la Société Astronomique de France*, t. 22, 1908, et t. 23, 1909, *passim*, avec de nombreuses reproductions des clichés les plus caractéristiques.

et moi sur les clichés furent publiés dans deux notes aux *Comptes rendus*, t. 147, 1908, p. 666 et t. 148, 1909, p. 759 ; puis dans un article d'ensemble détaillé à l'*Astrophysical Journal*, t. 34, 1911, pp. 89 à 104. Enfin, M. de la Baume Pluvinel a donné au *Bulletin de la Société Astronomique*, t. 26, 1912, pp. 49-60, un article qui résume et complète le précédent sur quelques points de détail. Je ne les rapporterai donc pas de nouveau ici. Mais j'ai réuni en un seul tableau les 76 radiations du spectre de la comète classées par longueurs d'onde et j'y ai ajouté les intensités appréciées à l'estime de 0 à 10, qui n'avaient pas encore été données.

La première étude du spectre de cette comète nous avait conduit à distribuer les doublets en deux séries désignées par les lettres A et B. Ces deux séries suivaient la loi de Deslandres et nous avons pu leur rattacher un certain nombre de radiations beaucoup plus faibles qui paraissaient leur appartenir.

Ayant reproduit le spectre des queues en laboratoire avec une grande intensité, comme on le verra plus loin, j'ai repris l'identification des radiations de la comète Morehouse, pour savoir jusqu'à quel point les deux spectres : cométaire et terrestre, étaient semblables.

Le résultat de cette comparaison, qui a porté non seulement sur les positions des bandes, mais aussi sur leurs intensités relatives et leur dégradé, prouve que les deux systèmes sont identiques lorsqu'on effectue la comparaison avec les bandes observées en laboratoire à une pression ne dépassant pas 10^{-4} millimètres.

On trouvera dans la colonne *Identification* le détail de cette comparaison. Il en est résulté certaines modifications à la liste que nous avons donnée dans l'*Astrophysical Journal* ⁽¹⁾. C'est ainsi que les quatre séries A, B, C et D de l'oxyde de carbone se retrouvent dans la comète avec leurs intensités respectives.

On remarquera que les spectres de Swan et du cyanogène ne s'étendaient pas dans la queue. De plus, aucune trace des raies de l'hydrogène n'a été décelée. Aussi faut-il rejeter complètement l'identification des radiations caractéristiques de la comète Morehouse faite par Edward C. Pickering qui les attribua d'abord au « spectre ordinaire des hydrocarbures » ⁽²⁾ ; puis, un mois plus tard, aux « lignes de l'hydrogène H_{ζ} , H_{ϵ} , H_{δ} , H_{γ} , H_{β} » ⁽³⁾. Cette dernière identification est encore parfois citée comme une preuve de l'existence du spectre de l'hydrogène dans les comètes ; c'est une erreur qu'il convient de ne pas laisser subsister.

⁽¹⁾ *Op. cit.*, p. 94, Tableau II.

⁽²⁾ *Astronomische Nachrichten*, t. 179, 1908, 193.

⁽³⁾ *Ibid.*, t. 179, 1909, p. 383.

TABLEAU VI

Spectre de la comète Morehouse (1908 c).

Int.	Description	Identification
1 7027	Tête	Non identifiée.
1 6848	Tête	Non identifiée.
3 6254	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 6245-6196 (C, + 2).
2 6024	Tête diffuse, large	C I, 6191-5958.
1 6020	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 6021-5976 (B, + 3) (?).
2 5900	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 5906-5862 (D, 0).
1 5563	Tête avec trace de queue	C II, 5635-5470.
1 5482	Tête avec trace de queue	C 3 ^e gr. nég. 5504-5467 (B, + 2).
1 5369	Tête très faible	Non identifiée.
1 5260	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 5248-5214 (C, 0) (?).
2 5163 à 5107	Tête diffuse	C III, 5165-5082.
3 5107	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 5076
3 5021	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 5044 } (B, + 1).
1 4987	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
1 492	Tête avec trace de queue	C 3 ^e gr. nég. 4915-4884 (A, + 2).
3 4879	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4869
3 4846	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4840 } (C, — 1).
1 4772	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
8 4746 à 4637	Tête	C IV, 4737-4680.
2 4722 à 4523	Queue	Az β , 4709-4515.
6 4722	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4714
6 4695	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4687 } (B, 0).
4 4614 à 4520	Tête diffuse	Cy II, 4606-4502.
2 4614	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
9 4576	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4569
9 4549	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4543 } (A, + 1).
5 4523	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4521 (C, — 2).
2 4493	Tête	Non identifiée.
2 4476	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
2 4458	Tête	Non identifiée.
3 4412	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4406
3 4388	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4381 } (B, — 1).
2 4373	Tête	C V, 4381-4364.
1 4305	Tête	Non identifiée.
2 4279 à 4144	Queue diffuse	Az γ , 4278-4166.
10 4279	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4274
10 4257	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4251 } (A, 0).
2 4250	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4246 (C, — 3).
3 4236	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
4 4223 à 4164	Tête dégradée vers le violet ...	Cy III, 4216-4158.

Int.	Description	Identification
3 4159	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4154 } (D, — 5).
2 4144	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4140 }
3 4138	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4133 } (B, — 2).
2 4114	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4119 }
3 4068 à 4023	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
9 4023	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4020 } (A, — 1).
9 4003	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 4000 }
2 3991	Tête et début de la queue	Non identifiée.
1 3969	Tête	Non identifiée.
1 3949	Tête avec faible queue	Non identifiée.
1 3932	Tête avec faible queue	Non identifiée.
7 3915	Tête avec queue	Az δ, 3914 (tête caractéristique).
2 3915 à 3856	Queue diffuse	Az δ, 3914-3857.
3 3908	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3910 } (B, — 3).
3 3898	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3891 }
10 3882	Tête	Cy IV, 3883.
8 3870	Tête	Cy IV, 3871.
6 3856	Tête	Cy IV, 3862-3851.
5 3803	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3797 } (A, — 2).
6 3783	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3779 }
1 3721	Tête	Non identifiée.
2 3701	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3707 } (B, — 4).
2 3687	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3690 }
1 3641	Tête	Non identifiée.
1 3629	Tête avec queue	Non identifiée.
2 3611 à 3569	Tête	Cy V, 3590-3584.
2 3611	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3602 } (A, — 3).
2 3586	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3586 }
1 3586 à 3530	Queue diffuse	Az ε, 3582-3548.
1 3569	Tête	Az ε, 3564.
1 3553	Tête	Az ε, 3548.
2 3530	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3527 } (B, — 5).
2 3519	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3512 }
1 3508	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
1 3446	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
1 3436	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3429 } (A, — 4).
1 3420	Tête avec queue	C 3 ^e gr. nég. 3415 }
1 3385	Tête avec trace de queue	Non identifiée.
1 3370	Tête avec trace de queue	C 3 ^e gr. nég. 3367 } (B, — 6).
1 3357	Tête avec trace de queue	C 3 ^e gr. nég. 3353 }
1 3294	Tête avec trace de queue	Az ζ, 3298-3296.
1 3269	Tête très faible et diffuse	C 3 ^e gr. nég. 3262-3275 (A, — 5).

L'absence de spectre continu a été remarquable. Elle a été spécialement notée dans les quatre régions suivantes de nos plaques.

De λ 3800 } à λ 3840 }	3914 } 4003 }	4415 } 4470 }	4470 } 4849 }
---	------------------	------------------	------------------

Nous avons observé que les nuages lumineux rejetés par le noyau dans la queue ⁽¹⁾ avaient la même constitution spectrale que cette dernière et non celle de la tête d'où ils émanaient. Nous n'avons jamais pu déceler dans leur spectre ni les radiations du cyanogène ni celles du spectre de Swan.

Aucune modification appréciable n'a été décelée dans le spectre entre le 3 octobre et le 29 novembre.

La figure 2 reproduit le cliché le plus caractéristique du spectre de la comète.

29. *Autres observations.* — Les travaux faits par les nombreux observateurs qui ont étudié cette comète ont confirmé nos recherches, sans y apporter aucun élément nouveau. Nos spectres sont plus étendus et comportent un plus grand nombre de radiations que ceux obtenus ailleurs.

III. — LA COMÈTE DE HALLEY (1909 c).

30. *Installation spéciale.* — Les bons résultats obtenus dans la photographie des spectres des précédentes comètes, grâce à la méthode du prisme-objectif, nous avaient fait concevoir d'assez grandes espérances pour l'étude de la comète de Halley qui allait venir. M. de la Baume Pluvinel avait installé, dans ce but, un observatoire spécial à Marcoussis, à 25 kilomètres au sud de Paris. Placé au sommet d'une ancienne tour, en haut d'une colline, au milieu des bois, sa situation était favorable. En particulier, les lueurs de Paris, à peine visibles au Nord, ne pouvaient nous gêner en aucun cas.

Une monture équatoriale, chargée de chambres photographiques et de prismes-objectifs, avait été solidement fixée sur la plate forme supérieure de la tour. Une cabane roulante, facilement manœuvrable, préservait les instruments des intempéries.

31. *Nos observations.* — Malheureusement, cette installation spéciale, si bien adaptée à son objet, fut à peine utilisée tant le ciel resta inclément pendant toute la période du passage de la comète près du Soleil et de la Terre. Six spectres en

⁽¹⁾ J'ai étudié, avec M. Quénisset, leurs mouvements et leurs vitesses. *Comptes rendus*, t. 147, 1908, p. 1033.

tout furent obtenus avec un prisme-objectif plus lumineux que celui qui nous avait servi pour la comète Morehouse. Il était composé d'un objectif 3 C Dallmeyer de 25 centimètres de foyer et 8^{cm},6 de diamètre $\left(\frac{F}{2,9}\right)$ et du prisme de flint de 60°. Les autres instruments, moins lumineux, n'ont rien donné.

Les quatre premiers spectres ont été pris à Juvisy en janvier et février où nous étions encore installés pour l'étude de la comète 1910 *a*.

Les deux autres ont été faits à Marcoussis avec la collaboration de M. G. Blum.

Voici un extrait du journal d'observation qui fixe les conditions dans lesquelles ces spectres ont été obtenus.

TABLEAU VII

Comète de Halley. Liste des spectres.

N°	1910 T. M. P.	Pose		Durée effective de la pose	Étoile de comparaison	Plaque	Remarques sur le négatif
		Début	Fin				
1	Janvier 29	7 ^h 26 ^m	8 ^h 16 ^m	0 ^h 50 ^m	—	Lum. Viol.*	Très faible.
2	Février 4	7 40	9 33	1 53	—	Lum. Viol.	Faible.
3	— 9	7 22	9 22	2 0	α Andromède	Lum. Viol.	Faible.
4	— 12	7 14	8 39	1 25	—	Lum. Viol.	Très faible.
5	Mai 7	14 55	15 7	0 9	—	Wr. Pinac.*	Bon, un peu faible.
6	— 31	10 17	11 16	0 59	—	Wr. Panchr.*	Bon, un peu faible.

* Lumière violette. Wratten Pinacyanol, Wratten Panchromatic.

En outre, un spectre de α Andromède a été obtenu avec des plaques Wratten Pinacyanol, pour déterminer la dispersion jusqu'à H _{α} .

32. *Résultats. Longueurs d'onde.* — Tous les spectres sont faibles. Jamais les conditions atmosphériques n'ont été suffisamment bonnes pour nous permettre de poser longtemps. C'est dans des éclaircies ou à travers les cirrus que les photographies ont été obtenues, et le spectre de la queue n'est pas venu sur nos clichés.

La tête a donné les radiations caractéristiques des comètes : spectres du cyano-gène et de Swan, avec une intensité suffisante pour qu'on puisse affirmer qu'ils ne s'étendaient pas dans la queue. Ce point, confirmé par les clichés d'autres observateurs, est important à noter. On a vu qu'il en était de même pour les comètes Daniel et Morehouse précédemment étudiées.

L'avant-dernier cliché semble présenter des traces du spectre rouge du cyano-gène qui fut si intense dans la comète Daniel.

La comète a montré un spectre continu assez marqué.

Voici la liste des condensations observées : Les intensités se rapportent à la plaque au Pinacyanol n° 5. Les longueurs d'onde sont déterminées avec peu de précision, car les images de la tête sont diffuses, allongées, et en partie noyées par le spectre continu.

TABLEAU VIII

Spectre de la comète de Halley (1909 c).

Int.	λ	Description	Identification
3	670 à 600	Bande allongée	Cy I, 664-574 (?).
1	550	Milieu d'une faible condensation	C II, 564-542.
3	510	Milieu d'une faible condensation	C III, 517-508.
10	468	Milieu de la condensation principale	C IV, 474-468.
2	430	Milieu d'une image du noyau seulement	Non identifiée.
2	418	Milieu d'une bande	Cy III, 422-415.
1	410 à 398	Noyau seulement	Non identifiée.
5	388	Milieu d'une image de la tête	Cy IV, 388-385.

Néanmoins l'identification est certaine. Il suffit du reste de juxtaposer ces épreuves à celles des comètes précédentes pour en acquérir la certitude. L'identité de position et d'aspect des images monochromatiques ne laisse aucun doute à cet égard.

33. *Autres observations.* — Les nombreux observateurs qui ont étudié cette comète ont été, en général, gênés eux aussi par le mauvais temps. La plupart ont enregistré les radiations dont je viens de donner la liste. Quelques-uns ont obtenu en outre le spectre de la queue et l'ont identifié avec le spectre de l'oxyde de carbone à très basse pression que M. Fowler venait de découvrir. Il ressemble en tous points à celui de la comète Morehouse, mais il est plus faible et, par conséquent, moins complet. Les bandes intenses ont seules impressionné les plaques.

Des radiations rouges à λ 630 et λ 610 ont été faiblement enregistrées par plusieurs observateurs qui ont employé des plaques sensibles jusqu'à λ 660. Sur les belles épreuves de MM. Slipher et Lampland on croit reconnaître le cyanogène rouge.

Les raies d'émission du sodium ont été également enregistrées lorsque la comète se trouvait à la distance 0,69 du Soleil ⁽¹⁾. Le spectre continu, relativement, intense a montré un grand nombre de raies de Fraunhofer.

Dans l'ensemble, les observations ont simplement confirmé ce que les deux précédentes comètes, Daniel et Morehouse, nous avaient appris.

(1) *Lowell Observatory Bulletin*, t. 2, 1911, p. 3.

34. *Variations du spectre.* — Cependant, on a constaté un phénomène qu'on n'a pas l'occasion de voir fréquemment : celui de la variation du spectre d'une comète. M. Wright a obtenu la première photographie de son spectre le 22 octobre 1909, 180 jours avant le passage au périhélie. A ce moment, le spectre était continu sans traces de bandes. Un peu plus tard, en décembre, MM. H. Deslandres et A. Bernard y voyaient apparaître les premières bandes du cyanogène. Enfin, près du Soleil, les raies D du sodium ont été visibles.

IV. — LA GRANDE COMÈTE 1910 *a*.

35. *Nos observations.* — Nous étions installés à l'Observatoire de Juvisy, où se trouvait monté le prisme-objectif décrit pour la comète de Halley (objectif 3 C Dallmeyer, prisme de flint de 60°) ⁽¹⁾, lorsque la belle comète 1910 *a* fut découverte près du Soleil, à Johannesburg.

Les observations spectrales, au prisme-objectif, furent extrêmement gênées par le mauvais temps en janvier et par la position défavorable de la comète. Située près du Soleil, elle se couchait peu de temps après lui en pleine lumière crépusculaire. De ce fait, la durée des poses était considérablement réduite. Le noyau disparaissait rapidement sous l'horizon, et la vive lumière du fond de ciel aurait amené un voile considérable si la pose avait été prolongée.

Trois spectres sur quatre ont donné un résultat. Le tableau suivant résume les conditions dans lesquelles ils ont été obtenus :

TABLEAU IX

Grande comète 1910 a. Liste des Spectres.

Nos	1910 T. M. P.	Pose		Durée effective de la pose	Étoile de comparaison	Plaque	Remarques sur le négatif
		Début	Fin				
1	Janvier 22	5 45 ^m	5 h 55 ^m	0 h 10 ^m	—	Wr. Pinac.	Très faible.
2	— 29	6 19	6 41	0 22	—	Lum. Viol.	Intense, le meilleur.
3	— 30	6 26	6 47	0 20	—	Wr. Pinac.	Faible.

Aucune étoile de comparaison n'a pu être juxtaposée au spectre de la comète, mais des spectres stellaires ont été obtenus quelques heures après les poses pour avoir la dispersion.

La détermination des longueurs d'onde s'obtient alors aisément si l'on peut

(1) Des photographies d'aspect ont été prises en même temps que les spectres avec M. Quénisset. On trouvera la reproduction de quelques-unes d'entre elles au *Bulletin de la Société Astronomique de France*, mars 1910.

identifier une des radiations du spectre de la comète. Précisément, l'image λ 3883 du cyanogène, si caractéristique dans tous nos spectres de comètes, se reconnaît aisément au premier coup d'œil et donne ses deux premières têtes ⁽¹⁾.

36. Résultats. Longueurs d'onde. — Le spectre de la comète 1910 a présente des différences caractéristiques avec ceux que nous avons obtenus précédemment. La queue a donné, sur une longueur de 8° environ, un spectre qui paraît continu avec la petite dispersion dont nous disposions (7^{mm} de λ 474 à λ 388).

On n'y retrouve pas le spectre des queues des comètes Morehouse et Daniel, tout au moins à plus d'un demi-degré du noyau, car plus près de ce dernier on aperçoit, en trois endroits, de faibles prolongements qui pourraient peut-être s'identifier avec lui.

Le noyau a donné un spectre continu intense sur lequel se détachent des images de la tête dont la plus brillante est la bande bleue du spectre de Swan.

Le tableau suivant donne la description du spectre du 29 janvier et son identification.

TABLEAU X

Spectre de la grande comète 1910 a.

Int.	λ	Description	Identification
	500 env.	Début du spectre continu	
10	474	Début d'une bande, maximum à 470	C IV, 474-468.
5	452	Noyau	Cy II, 461-450 (?).
3	437	Noyau	C V, 438-436.
2	435 à 431	Noyau	Non identifiée.
	431	Interruption du spectre continu	Raie solaire noire G.
4	428 à 418	Tête diffuse	Cy III, 422-416 (?).
1	412	Noyau allongé	Non identifiée.
1	404	Queue diffuse sur 10' env.	C 3 ^e gr. nég. 401 (?).
8	3883	Noyau, piqué comme une étoile	Cy IV, 3883.
4	3871	Noyau, piqué comme une étoile	Cy IV, 3871.
1	3860	Faible condensation	Cy IV, 3862.

La plaque du 22 janvier, sensible jusqu'à λ 660, montre une image à λ 474, plus diffuse que sur la plaque du 29. On y voit aussi la condensation à λ 388. Dans le rouge on aperçoit seulement une partie très faible et très diffuse du spectre continu s'étendant dans la queue entre λ 650 et λ 600 environ. Mais

⁽¹⁾ M. A. de la Baume Pluvinel a donné au *Bulletin de la Société Astronomique*, mars 1910, p. 110, une brève Note sur le spectre.

le cliché, extrêmement faible dans cette région, n'a pas enregistré l'image du sodium à λ 589 observée ailleurs.

37. *Les raies du sodium. Bandes rouges.* — Les raies du sodium ont été vues, en effet, dès le premier jour de la découverte ; puis elles ont diminué rapidement d'intensité, tandis que le spectre de Swan devenait de plus en plus brillant. Ainsi les variations spectrales de cette comète, dans son passage près du Soleil, ont été sensiblement les mêmes que celles de la grande comète Wells 1882 *a.* M. Albrecht, qui a photographié les deux composantes D_1 et D_2 , les a trouvées déplacées, par rapport à une source terrestre, de la quantité qui correspond précisément à la vitesse radiale de l'astre.

M. Newall a étudié le spectre avec un prisme à vision directe interposé entre l'œil et l'oculaire de sa lunette. Il a vu la comète presque entièrement en lumière du sodium le 22 janvier. Puis, comme la comète s'éloignait du Soleil (Epoque du passage au périhélie = 17 janvier), l'image du sodium est devenue de plus en plus faible, de moins en moins étendue, jusqu'à ne plus être émise que par le noyau. Une autre image monochromatique de la comète fut visible dans le rouge. Quant à l'image verte habituelle, elle était émise seulement par le noyau. A propos de celle-ci, M. Newall fait suivre la description de la mention : « (? magnésium) » ⁽¹⁾. Il n'y a cependant aucun doute qu'on se trouvait en présence de la bande λ 517 du spectre de Swan. Le groupe de raies *b* du magnésium (λ 5183 à 5167) n'a pas été observé.

L'image du sodium a été photographiée le 22 janvier par MM. Deslandres, Bernard et d'Azambuja, à l'Observatoire de Meudon, avec un prisme-objectif, sur une longueur de 20' à partir du noyau. Ces observateurs ont obtenu, en outre, une image dans le rouge : « Du côté de l'extrême rouge, disent-ils ⁽²⁾, le spectre continu montre un renforcement très net de λ 620 à λ 700, qui se prolonge aussi dans la queue jusqu'à 10' d'arc, et qui tient peut-être à un groupe de bandes intenses communes au noyau et à la queue, et non signalées encore dans les comètes. » Il est fort probable qu'on se trouve en présence du même groupe de radiations que M. Newall a observées. Mais il n'est pas certain qu'elles n'aient pas été signalées dans d'autres comètes, où plusieurs bandes dans le rouge ont été déjà notées comme nous l'avons vu.

Quant à leur origine, il est difficile de la déterminer. Il ne serait pas impossible cependant qu'elles aient été données par le spectre rouge du cyanogène. Sur notre plaque, la bande rouge a le même aspect, autant qu'on en puisse juger, que celle de la comète Daniel obtenue sur des plaques de la même marque et par conséquent de même sensibilité chromatique.

(1) *Monthly Notices*, 70, 1910, p. 459.

(2) *Comptes rendus*, 150, 1910, p. 254.

V. — LA COMÈTE KIESS (1911 b).

38. *Nos observations.* — Le spectre de la comète Kiess a été photographié, comme les précédents, à l'Observatoire de Juvisy. Il a déjà donné lieu à une étude publiée aux *Comptes rendus* (t. 153, 1911, p. 459), par M. A. de la Baume Pluvinel et moi-même. Je me bornerai donc à la résumer et à la compléter sur quelques points.

Deux prismes-objectifs ont été employés. Le premier comprenait l'objectif à portrait 3 C Dallmeyer de 8^{cm},6 de diamètre et 25 centimètres de foyer et le prisme de flint de 20°18'. Le second, plus dispersif, avait un objectif à portrait 3 B Dallmeyer de 8 centimètres de diamètre, 30 centimètres de foyer, avec un prisme de flint de 60°. Leurs désignations abrégées sont respectivement : 3 C 20° et 3 B 60°.

Le tableau ci-dessous donne la liste des spectres :

TABLEAU XI

Comète Kiess (1911 b). Liste des spectres.

N ^{os}	1911 T. M. Gr.	Pose		Durée effective de la pose	Étoile de comparaison	Prisme- objectif	Plaque	Remarques sur le négatif
		Début	Fin					
1	Juillet 20	13 ^h 25 ^m	14 ^h 7 ^m	0 ^h 42 ^m	Véga	3C 20°	Wr. Pinac.	Le spectre de comparaison empiète sur celui de la comète.
2	— 21	13 22	14 7	0 45	—	3C 20°	As Tr. rouge	Bon. Voile intense donné par la Lune.
3	— 22	13 3	14 3	1 0	—	3C 20°	Wr. Pinac.	Bon pour la partie visible.
4	— 24	13 42	14 22	0 40	—	3C 20°	As Tr. rouge	Médiocre, voile intense.
5	— 26	12 59	14 21	1 5	—	3B 60°	As Tr. rouge	Bon.
6	— 29	12 59	14 17	1 18	Véga	3B 60°	Lum. viol.	Très faible.
7	— 31	13 25	14 23	0 58	Véga	3B 60°	Lum. viol.	Très bon spectre.

39. *Résultats. Longueurs d'onde.* — Le tableau suivant résume l'étude de nos clichés d'après un nouvel examen.

TABLEAU XII

Spectre de la comète Kiess (1911 b).

Int.	λ	Description	Identification
3	564	Tête de bande	C II, 564.
4	516	Tête de bande	C III, 517.
6	4735 à 460	Bande	C IV, 4737-468.
9	4700	Condensation dans la bande	C IV, 4698.
10	4675	Condensation la plus intense	C IV, 4680.
8	4644	Condensation	Non identifiée.
1	440	Image diffuse	Non identifiée.
1	435	Milieu d'une image	C V 438-436.
2	431	Image circulaire	Non identifiée.
1	429	Image circulaire	Non identifiée.
2	423 à 417	Bande, milieu à 4199	Cy III 422-415.
2	406	Condensation	Non identifiée.
2	404	Condensation	Non identifiée.
1	4026	Image fine, un peu au-dessus du spectre du noyau	C 3 ^e gr. nég. 4020 (A, — 1).
1	4018	Condensation fine	Non identifiée.
1	4005	Image fine, un peu au-dessus du spectre du noyau	C 3 ^e gr. nég. 4000 (A, — 1).
2	3966	Condensation	Non identifiée.
1	3914	Image fine, un peu au-dessus du spectre du noyau	Az nég. 3914.
10	3882 à 385	Condensation intense	Cy IV, 3885-385.

Les intensités, cotées de 1 à 10, ont été appréciées sur la plaque Wratten Pina-cyanol du 22 juillet.

Le spectre continu est à peine sensible sur nos clichés, alors que celui de la grande comète 1910 *a* fut si intense. Le spectre de la queue ne se retrouve pas dans la tête, contrairement à celui de la comète Morehouse pour laquelle on avait des images monochromatiques complètes.

Aucune radiation n'a été enregistrée dans le rouge malgré la sensibilité de la plaque dans cette région.

40. *La queue de la comète.* — On trouvera la reproduction d'une photographie de la comète prise par M. Quénisset le 29 juillet 1911 au *Bulletin de la Société Astronomique de France*, de septembre 1911, en planche à part, face à la page 402. La queue est très fine. Elle émerge d'une chevelure circulaire, et il est impossible de décider si elle provient directement du noyau, comme il paraît naturel, ou si elle s'est formée à quelque distance, au détriment d'une portion des gaz de la

chevelure, ainsi que semblerait l'indiquer le spectre. Cette dernière hypothèse n'est pas absurde, car sur les dernières photographies prises à Juvisy, le 6 août, M. Quénisset a noté que la queue, très faible et étroite, présentait « cette particularité de partir non pas du centre de la tête, mais de son bord boréal : elle paraît ainsi très fortement excentrée » ⁽¹⁾.

Les diverses observations du spectre de cette comète, faites dans les autres observatoires, sont en bon accord avec les nôtres, mais sont moins complètes.

VI. — LA COMÈTE BROOKS (1911 c).

41. *Nos observations.* — Cette comète a été une des plus remarquables par son aspect, le développement de sa queue et son spectre. Avec la comète Morehouse, c'est l'astre dont nous avons poussé le plus loin l'étude. Une note aux *Comptes rendus* ⁽²⁾, faite en collaboration avec M. de la Baume Pluvinel, en a déjà donné les traits principaux, mais sans entrer dans les détails, ni donner le tableau des longueurs d'onde. J'en ai fait depuis une étude complète que je vais exposer ici.

La comète Brooks fut visible dans d'excellentes conditions, sous nos latitudes, pendant les mois d'août, septembre et octobre 1911. Toutes les photographies du spectre ont été prises exclusivement avec le prisme-objectif 3 B 60° (voir p. 34) déjà utilisé précédemment. Il était monté sur l'équatorial de Juvisy en même temps que les appareils photographiques habituels ⁽³⁾.

Vingt-deux bons spectrogrammes furent pris entre le 24 août et le 31 octobre 1911. M. Quénisset, mettant à profit les moindres éclaircies qui survenaient en mon absence de Juvisy, où je n'allais que lorsque le ciel était assez beau, en a obtenu neuf à lui seul, les 30 août, 1, 3, 5, 15, 17, 18, 28 et 30 septembre.

La durée totale d'exposition effective a été de 47^h41^m. Pour la région s'étendant du rouge au vert nous nous sommes servis de plaques Wratten et Wainwright Pinacyanol et Panchromatic. Le reste du spectre a été photographié sur plaques Lumière violette. Le tableau suivant donne la liste des spectres.

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société Astronomique de France*, t. 25, 1911, p. 403.

⁽²⁾ *Comptes rendus*, t. 154, 1912, p. 1286.

⁽³⁾ On trouvera les reproductions de photographies d'aspect de la comète Brooks, faites en collaboration avec M. Quénisset, au *Bulletin de la Société Astronomique de France*, t. 25, 1911, p. 434.

TABLEAU XIII

Comète Brooks (1911 c). Liste des spectres.

N ^{os}	1911 T. M. Gr.	Distance au Soleil	Pose		Durée effective de la pose	Étoile de comparaison	Plaque	Remarques sur le négatif
			Début	Fin				
1	Août 24	1,43	10 ^h 20 ^m	14 ^h 45 ^m	4 ^h 25 ^m	Véga	Wr. Pinac.	Bon pour le spectre visible.
2	— 25	1,42	10 46	13 35	2 40	Véga	Lum. Viol.	Très bon spectre.
3	— 27	1,38	9 52	14 52	5 0	α Cygne	Lum. Viol.	Très bon spectre.
4	— 30	1,33	9 44	12 28	2 44	α Cygne	Lum. Viol.	Le spectre de comparaison est déplacé.
5	— 31	1,32	10 30	14 30	4 0	α Cygne	Wr. Panchr.	Faible. Ciel brumeux.
6	Sept. 1	1,30	10 23	12 28	2 5	α Cygne	Lum. Viol.	Bon spectre.
7	— 3	1,27	12 39	15 29	2 50	α Cygne	Lum. Viol.	Bon spectre.
8	— 5	1,23	14 8	15 32	1 24	α Cygne	Lum. Viol.	Faible. Ciel brumeux.
9	— 15	1,06	7 55	9 47	1 52	α Cygne	Lum. Viol.	Bon spectre.
10	— 17	1,03	10 1	12 7	2 6	α Cygne	Lum. Viol.	Très bon spectre.
11	— 18	1,01	9 23	11 52	2 29	α Cygne	Lum. Viol.	Très bon spectre.
12	— 22	0,94	7 53	11 23	3 30	α Cygne	Lum. Viol.	Très bon spectre.
13	— 23 ⁽¹⁾	0,92	7 21	9 33	2 12	—	Wr. Panchr.	Bon pour le spectre visible.
14	— 24	0,90	11 10	12 28	1 18	α Cygne	Lum. Viol.	Bon spectre.
15	— 25	0,89	7 56	9 56	2 0	α Cygne	Lum. Viol.	Très bon spectre.
16	— 27	0,85	7 43	9 54	2 8	α Cygne	Lum. Viol.	Le meilleur spectre pour le bleu et le violet.
17	— 29	0,82	7 52	9 55	2 0	Capella	Wr. Panchr.	Bon spectre.
18	— 30	0,80	9 46	10 58	0 34	Véga	Lum. Viol.	Bon spectre.
19	Oct. 11	0,63	6 52	7 42	0 50	—	Lum. Viol.	Assez bon spectre.
20	— 27	0,49	16 15	16 49	0 34	Vénus	Wr. Pinac.	Faible.
21	— 28	0,49	16 14	16 56	0 42	Procyon	Lum. Viol.	Très bon spectre.
22	— 31	0,50	16 37	16 57	0 18	—	Lum. Viol.	Le meilleur spectre de la queue.

Passage au périhélie le 27 octobre.

42. *Mesure des clichés.* — Elle a été l'objet d'un soin tout particulier. Avant de l'entreprendre, je me suis livré à une série d'essais systématiques pour déterminer quelles étaient les conditions les plus favorables à la précision des pointés. Les essais ont été exécutés en faisant varier le grossissement du microscope, et en bissectant les images monochromatiques ou en les encadrant avec deux fils. Le

(¹) Voir page 45.

résultat de ces recherches a montré qu'il fallait *bissecter* la condensation plus ou moins diffuse et que le meilleur grossissement était de 10. Chaque nombre adopté est la moyenne de quatre pointés. Une première série est faite en allant de gauche à droite, une seconde série de droite à gauche ; puis le cliché est tourné de 180° et deux autres séries sont faites comme précédemment. Grâce à ces précautions, l'écart entre les divers pointés, qui s'élevait à 10 μ lorsque nous avons mesuré les spectres de la comète Morehouse, s'est abaissé, pour la comète Brooks, entre 3 et 5 μ . La dispersion moyenne entre F et H (vers λ 4400) étant de 82 Å par millimètre, on voit donc que l'erreur moyenne d'un pointé est de 0,3 à 0,5 Å environ.

La formule d'interpolation toujours utilisée dans nos réductions en longueurs d'onde est la suivante :

$$\frac{1}{\lambda} = N_0 + a\delta + b\delta^2 + c\delta^3$$

où δ désigne la distance mesurée sur la plaque et N_0 , a , b et c sont des constantes. Deux formules sont nécessaires pour représenter tout le spectre avec une précision suffisante : l'une s'applique à la région comprise entre l'extrémité rouge et la raie F_1 et l'autre entre F et l'ultra-violet.

Il est bien évident que la partie principale de l'erreur totale réside dans l'erreur systématique qu'on commet en bissectant, au jugé, la région la plus dense d'une image diffuse, généralement dissymétrique. L'erreur de juxtaposition du spectre d'étalonnage est environ dix fois moindre. Du reste, pour la réduire au minimum, j'ai enregistré sur 19 clichés un spectre stellaire de comparaison et les longueurs d'onde des radiations les plus nettes ont été relevées sur dix clichés au moins.

Le spectre du noyau se présentant sous l'aspect de fines images bien piquées, l'erreur de pointé est faible. Les longueurs d'onde de ces images, données dans le tableau XIV, paraissent exactes à moins de 1 Ångström près, en valeur absolue.

43. Résultats. Longueurs d'onde. — Le spectre de la comète Brooks ressemble, dans ses grandes lignes, au spectre normal des comètes. Il se compose, à première vue, de deux images monochromatiques intenses, émises par la tête seulement, situées dans le bleu et l'ultra-violet. Elles s'identifient aisément avec les bandes caractéristiques du carbone et du cyanogène. D'autres images, moins intenses, émises soit par la tête, soit par le noyau, se détachent sur un léger spectre continu. Enfin, des images monochromatiques de la queue se présentent comme celles de la comète Morehouse.

Mais il en diffère par le développement exceptionnel du spectre particulier émis par le noyau ⁽¹⁾, au début des observations, et qui caractérise cette comète comme

(1) Par *noyau*, j'entends non seulement le noyau stellaire, qui n'est souvent qu'une apparence due

la comète Morehouse le fut par les doublets de sa queue. En outre, des modifications importantes ont transformé tout le spectre à mesure que la comète s'est rapprochée du Soleil.

Si l'on en excepte celles qui en sont passées très près, aucune autre comète n'a éprouvé de telles variations dans sa constitution spectrale. Cependant elle ne s'est rapprochée du Soleil qu'à 0,49 unité astronomique.

Il m'a été impossible d'y retrouver le spectre rouge du cyanogène, si remarquable dans la comète Daniel. Il est vrai que le spectre obtenu avec une dispersion plus élevée est un peu plus faible ; mais si les bandes rouges ont existé, comme il est probable, leur intensité était certainement bien moindre.

Voici la liste des 73 radiations émises par la comète et leur identification. Un dessin récapitulatif (Pl. 1) les représente toutes. Il reproduit aussi fidèlement que possible le cliché obtenu sur plaque Lumière violette, le 27 septembre.

TABLEAU XIV

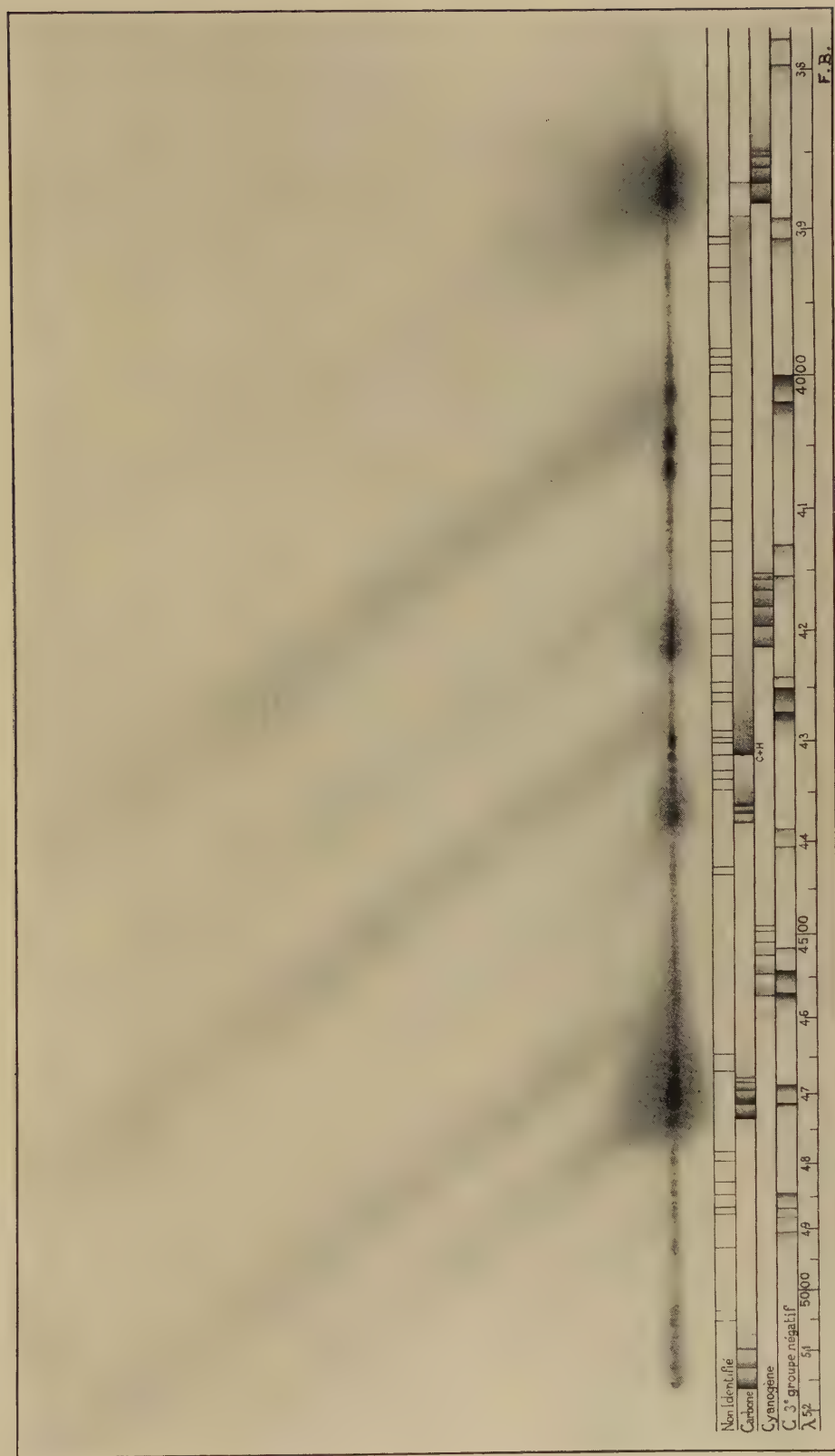
Spectre de la comète Brooks (1911 c).

Int.	λ	Description	Identification
1	620 à 590	Tête diffuse dégradée vers le violet .	C I, 619-596 (?).
3	564 à 544	Tête diffuse dégradée vers le violet .	C II, 564-547.
5	5156	Tête diffuse dégradée vers le violet .	C III, 5165.
4	5121	Tête diffuse dégradée vers le violet .	C III, 5129.
4	5102	Tête diffuse dégradée vers le violet .	C III, 5101.
5	5072	Tête diffuse dégradée vers le violet .	C III, 5082 (?).
5	5050,9	Noyau légèrement diffus	Non identifiée.
4	5033,0	Noyau légèrement dégradé vers le violet	Non identifiée.
3	4929,3	Noyau légèrement diffus	Non identifiée.
2	4879,5	Noyau	Non identifiée.
2	4866,6	Noyau	Non identifiée.
1	486	Queue	C 3 ^e gr. nég. 491-488 (A, + 2).
3	4841,0	Noyau	Non identifiée.
2	4819,8	Noyau	Non identifiée.
2	4791,9	Noyau	Non identifiée.
1	4778,3	Noyau	Non identifiée.
10	4737,2	Tête	C IV, 4737, 2.
10	4715,2	Tête	C IV, 4715, 4.
2	470	Queue	C 3 ^e gr. nég. 471-469 (B, 0).
10	4698,0	Tête	C IV, 4697, 6.

au faible pouvoir séparateur des petits instruments, mais aussi les gaz très lumineux qui l'environnent dans un rayon de quelques secondes d'arc. Avec la faible distance focale employée (0^m,30) les images monochromatiques qu'ils donnent sont aussi piquées que le seraient les images du noyau stellaire.

Int.	λ	Description	Identification
9	4682,5	Noyau	C IV, 4684-6, 4680, 2.
6	4669,1	Noyau	Non identifiée.
6	4646,8	Noyau	Non identifiée.
4	4600 à 4490	Tête	Cy II, 4606-4502.
3	455	Queue	C 3 ^e gr. nég. 457-454 (A, + 1).
1	4437,0	Noyau	Non identifiée.
1	4428,6	Noyau	Non identifiée.
1	439	Queue	C 3 ^e gr. nég. 441-438 (B, — 1).
5	4380 à 4372	Tête diffuse dégradée vers le violet....	C V, 4381-4364.
4	4365,6	Tête diffuse dégradée vers le violet ...	C V, 4364, 3.
4	4348,2	Noyau	Non identifiée.
5	4338,0	Noyau	Non identifiée.
5	4329,1	Noyau	Non identifiée.
8	4314,3	Noyau piqué comme une étoile	Non identifiée.
8	4303,0	Noyau piqué comme une étoile	Non identifiée.
8	4297,7	Noyau piqué comme une étoile	Non identifiée.
6	4291,5	Noyau piqué comme une étoile	Non identifiée.
4	427	Queue	C 3 ^e gr. nég. 427-425 (A, 0).
2	4263,9	Noyau	Non identifiée.
2	4255,4	Noyau	Non identifiée.
2	4246,5	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
3	4222,8	Noyau	Non identifiée.
5	4214,2	Tête diffuse	Cy III, 4216, 1.
3	4203,3	Noyau	Non identifiée.
5	4197,2	Tête diffuse	Cy III, 4197, 2.
3	4190,6	Noyau	Non identifiée.
4	4183,0	Tête diffuse	Cy III, 4181, 0.
2	4175,9	Noyau	Non identifiée.
3	4155	Fin de l'image diffuse de la tête	Cy III, 4158.
2	413	Queue	C 3 ^e gr. nég. 415-413 (D, — 5).
2	4133,8	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
2	4125,9	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
4	4109,0	Noyau	Non identifiée.
4	4099,3	Noyau	Non identifiée.
10	4073,6	Noyau	Non identifiée.
10	4065,4	Noyau	Non identifiée.
10	4050,8	Noyau	Non identifiée.
10	4041,4	Noyau	Non identifiée.
4	4032,3	Noyau	Non identifiée.
8	4015,5	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
4	401	Queue	C 3 ^e gr. nég. 402-400 (A, — 1).
5	3998,4	Noyau	Non identifiée.
6	3993,6	Noyau	Non identifiée.
6	3988,2	Noyau	Non identifiée.
4	3982,4	Noyau	Non identifiée.
3	3936,6	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.

PLANCHE I.



Dessin du spectre de la comète Brooks d'après les photographies prises à la fin de septembre 1911, et comparaison avec les spectres de différents gaz.

Int.	λ	Description	Identification
3	3927,7	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
1	3912,6	Noyau	Non identifiée.
1	3907,5	Noyau	Non identifiée.
10	3882,7	Tête diffuse	Cy IV, 3883, 1.
9	3871,1	Tête diffuse	Cy IV, 3871, 4.
8	3866	Tête diffuse	Cy IV, 3862, 1.
1	379	Queue	C 3 ^e gr. nég. 380-378 (A, — 2).

44. *Spectre du noyau.* — Les images données par le noyau, au nombre de 45, n'ont pas encore été identifiées. Vues au microscope, la plupart ressemblent à des images stellaires bien piquées. Malgré la forte intensité de quelques-unes, elles ne sont accompagnées en aucun cas, ni d'une image de la chevelure, ni d'une image de la queue. Les condensations données par le V^e groupe du carbone (λ 438-436) et le III^e groupe du cyanogène (λ 422-416), plus faibles que les images du noyau, sont cependant entourées d'une image étendue de la chevelure. Ceci montre bien la différence qui existe entre les deux spectres, et permet de conclure que le gaz qui a donné naissance à toutes ces condensations était exclusivement localisé dans le noyau et ne s'étendait pas sensiblement dans la chevelure.

La netteté des images monochromatiques se prêtait bien à la recherche du groupe caractéristique des hydrocarbures dont la bande principale se trouve à λ 4314,3. Or, en se reportant au tableau descriptif, on trouve une image intense du noyau, piquée comme une étoile, à λ 4314,3. Mais ce n'est là certainement qu'une coïncidence fortuite entre une des images du noyau et la bande en question. Aucune identification n'est possible, parce que cette image n'est certainement pas dégradée vers le violet, ce qui se verrait aisément avec la dispersion employée : ce n'est pas une tête de bande. Elle fait partie du spectre non identifié du noyau : elle en a l'aspect d'image stellaire, et, comme nous le verrons en détail un peu plus loin, elle a suivi les mêmes variations que lui.

45. *Spectre de la queue. Désaccord avec la théorie de Bredichin.* — La queue a donné un spectre spécial bien distinct de celui de la tête. On le suit jusqu'au bord de la plaque, à environ 5° du noyau. A cette distance, il a encore presque la même intensité que dans la tête. Cette uniformité d'éclat est des plus remarquables. L'image de la queue part du noyau sans présenter cette opacité des images de la chevelure données par le cyanogène et le carbone.

On identifie aisément son spectre avec celui du 3^e groupe négatif du carbone. Il est en tous points semblable à celui de la queue de la comète Morehouse, à part l'absence du groupe négatif de l'azote dont je n'ai pu retrouver aucune trace sur les clichés de la comète Brooks. Si les images de la queue ne sont généralement pas dédoublées, cela tient à ce que celle-ci était moins fine, plus diffuse, que celle de la

comète Morehouse ; les deux images du doublet empiètent alors l'une sur l'autre et donnent une simple traînée. Cependant, sur le cliché du 31 octobre, le meilleur pour l'étude du spectre de la queue, les images les plus intenses sont dédoublées.

En outre, on y distingue fort bien les deux branches de la queue formant entre elles un angle de 25° ; or, *elles ont donné identiquement le même spectre*. Il est important de souligner ce fait d'observation, parce qu'il est en désaccord avec la théorie, généralement admise, de Bredichin, qui prévoit un poids moléculaire différent pour les gaz de chaque queue, et, par conséquent, un spectre différent. Ici, les queues seraient sensiblement des types I et II, attribués respectivement à l'hydrogène et aux hydrocarbures.

Le spectre de la queue n'est pas visible au-dessous de la fine traînée formée par le spectre continu en septembre, comme l'est celui de la chevelure. Mais en octobre, il dépasse cette traînée. Ainsi, les gaz donnant naissance au spectre de la queue se sont étendus de plus en plus loin, tout autour du noyau, à mesure que la comète s'est rapprochée du Soleil, tandis que la tête devenait de plus en plus petite, comme c'est le cas pour toutes les comètes.

Aucune condensation du noyau ne correspond aux images de la queue. Celles qui ont à peu près la même longueur d'onde que les têtes de bandes du 3^e groupe négatif du carbone ne lui appartiennent certainement pas, puisqu'elles ont totalement disparu, avec les autres radiations du noyau, vers la fin octobre. Il faut donc éviter de confondre le beau doublet $\lambda 4019,8-3999,5$ avec les images du noyau à $\lambda 4015,5$ et $3998,4$.

46. *Variations du spectre.* — J'ai déjà signalé combien elles avaient été importantes.

L'étude de ces variations a porté sur 16 négatifs, tous obtenus sur plaques Lumière violette. Pour des raisons de brièveté, je désignerai par les termes : groupe $\lambda 405$ et groupe $\lambda 430$ les deux séries d'images monochromatiques les plus intenses du noyau situées autour de ces positions moyennes. On en trouvera la description complète page 58.

Le 25 août (distance au Soleil, $r = 1,42$) le groupe $\lambda 430$ est invisible, tandis que $\lambda 405$ est assez intense. Ce dernier est plus faible que les radiations caractéristiques $\lambda 474$ du spectre de Swan et $\lambda 388$ du cyanogène. Les bandes du cyanogène à $\lambda 422$ sont pâles et diffuses ; celles du carbone à $\lambda 438$ sont à peine visibles. Pas de spectre continu.

Le 27 août ($r = 1,38$), le négatif, posé 5 heures, est intense. Le groupe $\lambda 430$ est à la limite de visibilité. $\lambda 438$ du carbone se voit aisément et est à peine plus faible que $\lambda 422$ du cyanogène. On distingue nettement le spectre continu donné par le noyau.

Le 3 septembre ($r = 1,27$), le groupe $\lambda 430$ a nettement augmenté d'intensité

par rapport au groupe λ 405 toujours intense. Il est devenu égal à λ 422 du cyanogène.

Le 15 septembre ($r = 1,06$), le cliché n'offre aucune différence avec celui du 3 septembre en ce qui concerne les radiations de la tête, mais on voit apparaître, avec une pose de 1^h52^m , les premières traces du spectre de la queue.

Le 17 septembre ($r = 1,03$), avec une pose peu différente, 2^h6^m , le spectre de la queue est bien développé et les images s'étendent jusqu'au bord de la plaque, soit à 5° du noyau.

Le 18 septembre ($r = 1,01$), le groupe λ 422 du cyanogène a la même intensité que λ 438 du carbone. L'opacité des images du noyau à λ 430 est un peu plus forte que celle des deux groupes précédents, mais plus faible que celle de λ 405.

Le 22 septembre ($r = 0,94$), le groupe λ 430, toujours très piqué, est nettement plus intense que λ 438 du carbone et λ 422 du cyanogène. Ceux-ci, diffus, ne montrent pas de condensations bien définies données par le noyau.

Le 27 septembre ($r = 0,85$), le spectre particulier du noyau atteint son complet développement. On y observe les 45 radiations dont les longueurs d'onde ont été données. Le groupe λ 430 est devenu à peu près aussi intense que λ 405.

Le 30 septembre ($r = 0,80$), le spectre du noyau a faibli nettement par rapport aux autres radiations. Le groupe λ 430 n'est pas plus intense que λ 438 du carbone et λ 422 du cyanogène, ces deux derniers étant égaux. λ 405 est toujours assez intense.

Le 11 octobre ($r = 0,63$), dernière observation du soir, le spectre particulier du noyau a presque totalement disparu. On distingue seulement un léger renforcement du spectre continu à λ 405. Les images monochromatiques du noyau correspondant aux têtes de bandes des groupes λ 474 du carbone et λ 388 du cyanogène sont très distinctement marquées avec leur dégradé vers le violet.

Lorsque nous retrouvons la comète dans le ciel du matin, le 28 octobre ($r = 0,49$), le lendemain du passage au périhélie, le spectre a poursuivi son évolution. Les radiations du noyau sont encore moins perceptibles que le 11; le groupe λ 405 est seul décelable comme un léger renforcement du spectre continu. On distingue les granulations un peu diffuses correspondant aux têtes de bandes des groupes λ 438 du carbone et λ 422 du cyanogène. Le spectre du cyanogène est nettement plus intense que le spectre de Swan. Le spectre de la queue, admirablement développé, entoure tout le noyau; il déborde le spectre continu du côté du Soleil.

Enfin, le 31 octobre ($r = 0,50$), on ne voit presque plus l'emplacement du groupe λ 405 du noyau sur le spectre continu. Les condensations des têtes de bandes appartenant au spectre de Swan et au cyanogène sont encore mieux piquées que le 28, malgré l'intensité du spectre continu, et le spectre de la queue

est encore plus développé ; et cependant le cliché n'a reçu que 18 minutes de pose dans l'aurore naissante.

En résumé, et pour ce qui concerne le spectre non identifié du noyau, on remarque que le groupe λ 405, déjà bien développé au début, a passé par un maximum d'intensité le 27 septembre, puis s'est affaibli considérablement pour disparaître presque totalement le 31 octobre. Le groupe λ 430, presque invisible le 27 août, atteint son maximum d'intensité le 27 septembre comme le précédent et disparaît comme lui. Le spectre du cyanogène, de même intensité que le spectre de Swan au début, est devenu progressivement plus intense. Le spectre de la queue s'est développé rapidement lorsque la comète est passée près du Soleil. Il était plus intense après le périhélie qu'avant ⁽¹⁾.

Entre notre première observation et le passage au périhélie, la radiation solaire reçue par la comète a varié dans le rapport $\frac{(1,43)^2}{(0,49)^2} = 8,5$.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il serait prématuré de faire une hypothèse pour expliquer les phénomènes qui viennent d'être décrits, mais il semble qu'on doive en rechercher l'explication dans une véritable transformation chimique des gaz émis par le noyau sous l'influence des divers rayonnements du Soleil.

47. *Autres observations.* — La comète Brooks a été également très étudiée dans les autres observatoires, comme le montre la bibliographie p. 70. En général, les spectres publiés sont bien moins complets que les nôtres. Seul M. W.-H. Wright, en collaboration avec MM. Kiess, Sheppard, Curtis et Wilson, a obtenu, à l'Observatoire Lick, avec un prisme-objectif et quatre spectrographes à fente, des résultats un peu plus complets. La belle planche I du *Bulletin* n° 209 de *Lick* donne les épreuves remarquables des spectrographes à fente.

Nous avons 21 images du noyau communes sur les 45 du Tableau XIV. On les trouvera dans l'étude spéciale, page 56. M. Wright a obtenu, avec beaucoup plus d'intensité que nous, le spectre de la comète dans la partie la moins réfrangible. Il photographia les raies D du sodium les 22-23 octobre ($r = 0,50$) confinées près du noyau, apportant ainsi un document intéressant et rare sur la présence de cet élément dans une comète aussi éloignée du Soleil. En outre, entre λ 6300 et λ 6700 le spectre continu, coupé des raies noires de Fraunhofer, présente des maxima et des minima qui suggèrent la présence de faibles bandes. La comparaison de la figure 2 de la planche I du *Bulletin de Lick* avec la figure 4 b de la planche 7 du Mémoire de Fowler et Shaw dans les *Proceedings of the Royal Society*,

⁽¹⁾ Voir la planche montrant les variations caractéristiques du spectre de cette comète au *Bulletin de la Société Astronomique de France*, septembre 1912, p. 402.

A, t. 86, 1912, p. 130, représentant le spectre rouge du cyanogène dans l'arc au charbon, obtenue avec une dispersion presque égale à celle du spectre cométaire, montre une certaine ressemblance entre les deux spectres. Il est donc possible que les bandes rouges du cyanogène aient été photographiées dans cette comète.

M. Wright a enregistré, à λ 6300, une ligne brillante donnée par le noyau, que nous n'avons pas dans nos spectres. Elle se rapproche de la ligne λ 6301 des nébuleuses et de la ligne λ 6298 $\pm$ de l'aurore. Elle appartient bien à la comète et non à notre atmosphère comme le prouve son absence sur un cliché de contrôle posé pendant une nuit entière sur le ciel à l'horizon nord.

La raie λ 4313,2, qui correspond à celle que nous avons mesurée à λ 4314,3, est indiquée comme particulièrement courte et concentrée, mais il n'est fait aucune allusion à la possibilité d'une identification avec la bande caractéristique des hydrocarbures. Du reste, sur les reproductions, elle apparaît comme une ligne, sans aucune trace de dégradé, comme dans nos spectres.

Les divers spectrogrammes montrent les mêmes variations que nous avons enregistrées et, pour le reste, sont d'accord avec les nôtres.

VII. — LA COMÈTE QUÉNISSET (1911 f).

48. *Nos observations.* — Le 23 septembre 1911, M. F. Quénisset découvrait à la jumelle une nébulosité de 7^{gr},5 dans la Petite Ourse ⁽¹⁾. Nous étions occupés alors à photographier la comète Brooks et son spectre. Lorsque le caractère cométaire de la nébulosité nous apparut probable, après recherche dans les catalogues de nébuleuses, la pose sur la comète Brooks fut interrompue à 9^h33^m, sans prendre même le temps de juxtaposer un spectre stellaire de comparaison au spectre qui venait d'être posé. L'équatorial fut dirigé sur l'astre nouveau et la pose, commencée à 10^h16^m, fut interrompue à 10^h50^m par l'arrivée des nuages. L'équatorial n'avait pas son micromètre ; il avait été remplacé par un oculaire spécial, et nous aurions peut-être douté de la nature cométaire de l'objet nébuleux si le spectre, développé aussitôt, ne nous avait pas apporté la preuve que nous nous trouvions bien en présence d'une comète.

Nous l'observâmes spectroscopiquement du 23 septembre au 29 octobre 1911.

⁽¹⁾ F. Quénisset et F. Baldet. Découverte d'une comète à l'Observatoire Flammarion de Juvisy. *Comptes rendus*, t. 153, 1911, p. 589. *Astronomische Nachrichten*, t. 189, 1911, p. 293 et *Bulletin de la Société Astronomique de France*, t. 25, 1911, p. 436 (une photographie).

Voici la liste des spectres obtenus :

TABLEAU XV

Comète Quénisset (1911 f). Liste des spectres.

N ^{os}	1911 T. M. Gr.	Pose		Durée effective de la pose	Etoile de comparaison	Plaque	Remarques sur le négatif
		Début	Fin				
1	Sept. 23	10 16 ^m	10 ^h 50 ^m	0 ^h 34 ^m	Véga	Lum. Viol.	Très faible.
2	— 24	8 28	10 37	2 9	α Cygne	Lum. Viol.	Faible.
3	— 25	10 55	13 57	1 58	—	Lum. Viol.	Bon.
4	— 27	{ 10 41 11 49	{ 10 53 12 16	0 39	—	Lum. Σ	Faible (nuages et brumes).
5	Oct. 14	7 48	9 0	1 12	α Cygne	Lum. Viol.	Assez bon.
6	— 18	7 55	8 45	0 26	—	Lum. Viol.	Très faible (nuages).
7	— 20	6 26	7 41	1 12	α Cygne	Lum. Viol.	Bon (à travers nuages).
8	— 22	6 33	8 13	1 40	α Cygne	Lum. Viol.	Le meilleur.
9	— 27	6 18	6 53	0 35	—	Lum. Viol.	Bon.
10	— 29	6 30	7 6	0 36	α Cygne	Lum. Viol.	Bon.

Les numéros 4 à 8 inclus ont été posés par M. Quénisset seul.

Tous ces spectres ont été obtenus avec le prisme-objectif 3 B 60°, décrit page 34. Ils n'ont encore fait l'objet d'aucune publication.

49. *Résultats. Longueurs d'onde.* — Le Tableau XVI donne les longueurs d'onde et la description du cliché du 22 octobre. Les autres sont plus faibles, moins complets, mais semblables à celui-là. Il n'y a pas eu de variations comme pour la comète Brooks.

TABLEAU XVI

Spectre de la comète Quénisset (1911 f).

Int.	λ	Description	Identification
5	4737,8	Tête diffuse	C IV 4737,2.
6	4715,5	Tête diffuse	C IV, 4715,4.
6	4697,4	Tête diffuse	C IV, 4697,6.
7	4682,0	Tête diffuse	C IV, 4684,6-4680,2.
3	458 à 450	Tête	Cy II, 461-450.
1	455	Très faible queue, 30' env.	C 3 ^e gr. nég. 457-454 (A, + 1).
2	4382	Tête dégradée vers le violet	C V, 4381.
1	4300	Noyau	Non identifiée.
1	427	Faible queue, 40' env.	C 3 ^e gr. nég. 427-425 (A, 0).
4	4217	Tête dégradée vers le violet	Cy III, 4216,1

Int.	λ	Description	Identification
3	416	Fin de la bande	Cy III, 4181,0.
2	4074,2	Noyau	Non identifiée.
2	4066,1	Noyau	Non identifiée.
3	4051,9	Noyau	Non identifiée.
3	4040,7	Noyau	Non identifiée.
2	4032,5	Noyau	Non identifiée.
3	4014,5	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
1	401	Faible queue, 40' env.	C 3 ^e gr. nég. 402-400 (A, — 1)
1	3990	Noyau légèrement dispersé	Non identifiée.
1	3910,0	Noyau	Non identifiée.
10	3881,9 ^a	Tête diffuse	Cy IV, 3883,1.
8	3866	Tête diffuse	Cy IV, 3871,4-3862,1.

Toutes ces radiations se détachent sur un spectre continu peu intense.

On voit que la comète Quénisset est du type classique. Elle montre, en outre, d'une manière assez nette, les principales radiations d'origine encore inconnue si bien développées dans la comète Brooks. Comme dans cette dernière, elles sont émises exclusivement par le noyau.

VIII. — LA COMÈTE GALE (1912 a).

50. *Nos observations.* — Après mon départ pour l'Observatoire d'Alger, M. Quénisset a obtenu trois bons spectrogrammes de la comète Gale avec le prisme-objectif 3 B 60° qui était resté monté sur l'équatorial de Juvisy. M. de la Baume Pluvinel a bien voulu me les confier récemment pour les étudier.

Voici d'abord la liste de ces spectres :

TABLEAU XVII

Comète Gale (1912 a). Liste des spectres.

N ^{os}	1911 T. M. Gr.	Pose		Durée effective de la pose	Etoile de comparaison	Plaque	Remarques sur le négatif
		Début	Fin				
1	Octobre 16	6 ^h 34 ^m	7 ^h 32 ^m	0 ^h 58 ^m	—	As. Tr. rouge	Bon.
2	— 17	6 34	7 14	0 40	—	As. Tr. rouge	Bon.
3	Novembre 2	6 8	7 10	1 2	—	As. Tr. rouge	Bon.

51. *Résultats. Longueurs d'onde.* — L'absence de spectres de comparaison ne permet pas la mesure directe des longueurs d'onde. Mais ce fait qui, en tout autre cas, aurait pu être un inconvénient sérieux, n'a gêné en rien, ici, l'identification. Cela tient à ce que le spectre de cette comète est du type classique. On y

reconnait, au premier coup d'œil, les radiations caractéristiques des bandes de Swan et du cyanogène. Il porte donc, en lui-même, son étalonnage.

Une autre circonstance m'a permis d'en simplifier encore l'étude. La tête de la comète étant large et diffuse ⁽¹⁾ n'a pas donné d'image monochromatique piquée, se prêtant aisément aux pointés micrométriques, comme pour les autres comètes. Il m'a suffi alors de juxtaposer, gélatine contre gélatine, les spectrogrammes à ceux des comètes précédentes, obtenus avec le même instrument, et de noter les coïncidences entre les radiations. Cette méthode est certainement la meilleure dans ce cas particulier.

Voici les résultats. Le Tableau XVIII ne comporte naturellement pas, comme les précédents, de longueurs d'onde mesurées.

TABLEAU XVIII

Spectre de la comète Gale (1912 a).

Int.	Description	Identification
7	Tête diffuse dégradée vers le violet. Maximum d'intensité vers 4682	C IV, 474-468.
1	Queue très faible	C 3 ^e gr. nég. 471-469 (B, o).
3	Tête peu marquée.....	Cy II, 461-450.
1	Queue sur 3 ^o environ	C 3 ^e gr. nég. 457-454 (A, + 1).
3	Tête diffuse dégradée vers le violet	C V, 438-436.
1	Queue sur 4 ^o environ	C 3 ^e gr. nég. 427-425 (A, o).
4	Tête diffuse dégradée vers le violet avec deux faibles condensations et une faible image de la deuxième queue	Cy III, 422-418.
1	Queue très faible	C 3 ^e gr. nég. 415-414 (D, — 5).
2	Noyau diffus, légèrement dispersé.....	Non identifiée : 4074-4066*.
2	Noyau diffus, légèrement dispersé.....	Non identifiée : 4052-4043*.
1	Queue sur 4 ^o environ	C 3 ^e gr. nég. 402-400 (A, — 1).
10	Tête.....	Cy IV, 3883.
8	Tête.....	Cy IV, 3871-3862.

*Voir page 58.

Un spectre continu assez intense se superpose à toutes ces radiations.

52. *Spectre de la queue. Désaccord avec la théorie de Bredichin.* — Comme on peut le voir sur les photographies de M. Quénisset reproduites au *Bulletin de la Société Astronomique de France* (op. cit.), la comète Gale a eu deux queues prin-

(1) Voir les deux reproductions des photographies d'aspect prises par M. Quénisset les 14 et 16 octobre, *Bulletin de la Société Astronomique de France*, t. 26, 1912, pp. 501-502, fig. 223 à 225.

cipales : l'une sensiblement rectiligne, longue et relativement intense, et l'autre arquée, faible, courte, formant avec la première un angle qui a varié entre 65 et 90°. Ces deux queues appartiennent aux types I et III de Bredichin. L'occasion était donc favorable pour connaître la constitution de deux types aussi différents qui, théoriquement, doivent donner des spectres entièrement dissemblables. Bredichin a supposé que le premier type était donné par l'hydrogène et le troisième par des vapeurs métalliques.

Or, sur le cliché du 17 octobre, le plus intense, on voit très bien le spectre de la première queue ayant à sa base, au bord du spectre continu du noyau, l'image très courte de la seconde queue sur une longueur d'un tiers de degré environ. Cette constatation est surtout nette avec l'image λ 401 qui n'est pas gênée par des bandes étrangères. L'angle des deux queues, sur le spectrogramme, est d'environ 70°. Les deux queues ont donc le même spectre, et on l'identifie aisément avec celui du 3^e groupe négatif du carbone. Ce fait d'observation est à rapprocher de celui que j'ai déjà signalé, p. 41, à propos de la queue de la comète Brooks. Il apporte, pour la seconde fois, une preuve du désaccord qui existe entre nos observations et les théories du savant russe.

On constate, en outre, qu'une faible image de la deuxième queue est visible sur la condensation λ 4216-4181 du cyanogène ; mais on ne la retrouve pas sur l'image caractéristique du cyanogène à λ 3883.

CHAPITRE III

RÉSULTATS GÉNÉRAUX

I. — RÉPARTITION CONSTANTE DES DIVERS SPECTRES DANS LES COMÈTES

53. *Répartition d'après nos observations.* — L'examen des quatre-vingts spectrogrammes se rapportant aux huit comètes étudiées dans les chapitres précédents montre que le noyau, la chevelure et la queue donnent chacun — en plus du spectre continu plus ou moins intense — les spectres d'émission suivants :

Pour le *noyau* une série de radiations, toujours les mêmes, qui feront l'objet d'une étude particulière, page 53, et qui n'ont pas encore été identifiées.

Pour la *tête*, formée de la chevelure et du noyau, les bandes de Swan et du cyanogène.

Enfin, pour la *queue*, les doublets du 3^e groupe négatif du carbone et, parfois, le groupe négatif de l'azote. Seule, la comète 1910 *a* a présenté un spectre continu, ou paraissant tel avec la très faible dispersion employée. Les doublets du 3^e groupe négatif du carbone n'ont jamais offert une image du noyau, ni même de toute la tête, comme on l'a noté à chaque fois que celle-ci s'est distinguée de la queue par ses dimensions.

Ces constatations sont fondamentales. Avec la connaissance du spectre des queues, ignoré auparavant, elles constituent l'apport le plus important de l'application de la méthode du prisme-objectif à l'étude des comètes.

L'examen des cinq spectrogrammes des comètes 1902 *b* et 1903 *c* (ces derniers n'ont pas été publiés) qui complètent la collection de M. de la Baume Pluvinel, ainsi que l'étude des mémoires publiés depuis sur les huit comètes 1913 *a*, 1913 *b*, 1913 *f*, 1915 *a*, 1917 *a*, 1924 *b*, 1924 *c* et 1925 *c*, dont le spectre a été obtenu au prisme-objectif, confirment les conclusions énoncées plus haut.

Nous pouvons représenter schématiquement les résultats par la figure suivante :

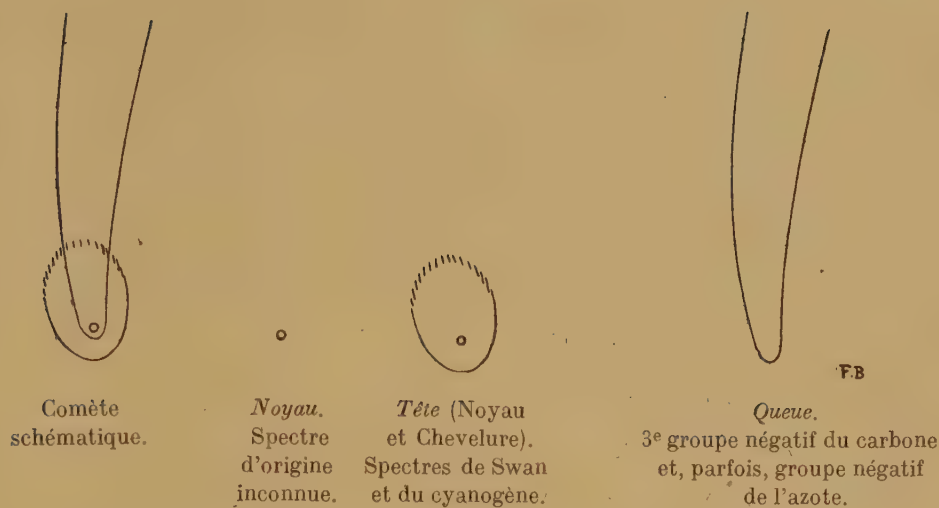


Fig. 2. — Répartition constante des différents spectres dans les comètes.

Parfois, et c'est le cas pour les grandes comètes à faible distance périhélie, la chevelure et la queue paraissent confondues, mais elles donnent cependant deux spectres distincts.

Les intensités relatives des spectres de ces diverses régions sont variables d'une comète à l'autre ; elles le sont également avec leur distance au Soleil. L'extension de la chevelure du côté de la queue est plus ou moins grande ; la queue peut être simple ou composée, mais les subdivisions spectrales que je viens de décrire restent toujours les mêmes.

54. *Incertitude sur la nature des gaz constitutifs.* — La connaissance d'un spectre du carbone ne suffit pas pour déterminer la nature du gaz qui lui a donné naissance. Un même gaz carboné émet divers groupes de bandes suivant les procédés d'excitation et inversement, différents gaz carbonés peuvent offrir les mêmes groupes de bandes.

Ce serait donc dépasser les résultats de l'observation que de vouloir attribuer les groupes de bandes observés dans les comètes à des gaz différents, quoique cela paraisse assez probable. Tout ce qu'on peut affirmer avec certitude, c'est qu'il existe dans les comètes un ou plusieurs gaz carbonés, parfois l'azote libre, et enfin le sodium lorsque l'astre se rapproche suffisamment du Soleil.

55. *Origine du spectre continu.* — Le spectre continu, donné surtout par le noyau, a une intensité très variable suivant les comètes. Parfois presque invisible comme dans la comète Morehouse (1908 c), il peut être prépondérant comme dans la comète Holmes (1892 f).

Pendant longtemps, on a cru qu'il fallait en chercher l'origine dans la réflexion de la lumière solaire sur de fines particules solides hypothétiques. Mais aujourd'hui

d'hui, grâce à nos connaissances sur la lumière diffusée par les gaz, cette hypothèse est devenue inutile. M. Ch. Fabry a bien montré quelle était l'importance de la diffusion moléculaire de la lumière du Soleil dans le cas des comètes ⁽¹⁾ et nous nous rallions entièrement à son interprétation qui est en complet accord avec nos observations sur la nature gazeuse des queues, et avec les phénomènes bien connus de polarisation qu'elles présentent.

Il ne faut faire exception que pour la queue de la comète 1910 *a*, dont le spectre continu intense pourrait être, en partie, un spectre de fluorescence du sodium comme on l'a suggéré. Seuls, des appareils très dispersifs et lumineux, difficiles à réaliser, pourraient nous donner quelques éclaircissements à ce sujet.

II. — VARIATIONS DES SPECTRES DES COMÈTES

56. *Influence de la distance au Soleil. Activité du noyau.* — Le spectre des comètes éprouve des variations lorsqu'elles se rapprochent suffisamment du Soleil. Mais, comme on a rarement l'occasion de les étudier à des distances très différentes de l'astre central, les variations sont si faibles qu'elles passent, en général, inaperçues.

On peut se demander si la diversité des spectres des différentes comètes ne tient pas davantage aux distances variables du Soleil auxquelles les observations ont été faites, plutôt qu'à une différence de constitution propre. En d'autres termes, c'est poser la question de l'identité de constitution des comètes pour une même distance au Soleil.

Le problème est difficile à résoudre faute de documents suffisants. En rapprochant toutes les observations, il semble bien cependant qu'une loi générale se dégage :

Lorsque la comète est à une grande distance du Soleil (deux ou trois unités astronomiques) le spectre est presque entièrement continu : la comète diffuse simplement la lumière solaire. On en a deux exemples typiques dans la comète Holmes (1892 *f*) ⁽²⁾ et la comète de Halley en octobre 1909, 180 jours avant le passage au périhélie.

Au fur et à mesure qu'elle se rapproche du Soleil, les spectres de Swan et du cyanogène se développent, ainsi que le spectre particulier du noyau.

A la distance unité, lorsque la queue s'allonge, on y observe les bandes caractéristiques du 3^e groupe négatif du carbone.

Plus près encore, le spectre du noyau va en s'affaiblissant rapidement, celui de

⁽¹⁾ *Bulletin de la Société Astronomique de France*, t. 32, 1918, p. 23.

⁽²⁾ H. Vogel avait déjà proposé la même explication pour cette comète. *Astronomische Nachrichten*, t. 131, 1893, p. 374.

la queue devient brillant. Puis le sodium apparaît, mais au détriment du spectre de Swan qui s'affaiblit.

Un élément important vient compliquer cette succession simple des phénomènes : c'est l'activité du noyau si variable d'une comète à l'autre.

En résumé, on peut dire que, presque toutes les comètes ont sensiblement la même constitution. Elles ne diffèrent les unes des autres, pour une même distance au Soleil, que par la plus ou moins grande activité de leur noyau, dont la nature même est encore si mystérieuse.

III. — LE SPECTRE DU NOYAU

57. *Liste des radiations non identifiées dans toutes les comètes.* — Le noyau de toutes les comètes dont nous avons obtenu le spectre a toujours présenté, comme nous l'avons vu, un certain nombre de radiations non identifiées. Les plus importantes forment un groupe caractéristique situé vers λ 405, ayant toujours le même aspect, quoique avec des intensités différentes.

J'en ai fait une étude complète, portant sur toutes les comètes dont le spectre a été photographié de 1881 à 1925. Le résultat de ce travail est condensé dans les trois tableaux qui suivent.

Dans le premier (Tableau XIX), j'ai dressé la liste, pour chaque comète, de toutes les radiations non identifiées mesurées par chacun des observateurs. Pour établir cette liste, il m'a fallu reprendre, dans le détail, l'identification de toutes les radiations des spectres, les erreurs commises étant assez nombreuses ⁽¹⁾. Après la désignation de la comète, se trouve le nom de l'observateur, puis au-dessous, à gauche, les abréviations (F) ou (PO) signifiant respectivement : spectrographe à fente ou prisme-objectif et, sur la même ligne, à droite, un nombre renvoyant à l'indication bibliographique de la page 65. Les longueurs d'onde suivent, avec les intensités en regard.

58. *Reconstitution du spectre du noyau.* — Avec cette liste, j'ai dressé un autre tableau (non reproduit ici) groupant sur une même rangée les radiations dont les longueurs d'onde sont sensiblement les mêmes. Il est alors aisé de voir que le spectre du noyau appartient à un seul type, et que plus une radiation est intense, plus le nombre des comètes dans lequel on la retrouve est élevé. En particulier, la raie la plus brillante dont la longueur d'onde moyenne est λ 4051,6 a été observée dans toutes.

Il y a lieu de faire remarquer que, sur trente-trois comètes dont la photographie

⁽¹⁾ H. KAYSER (*Astronomy and Astro-Physics*, t. 13, 1894, p. 205), a déjà attiré l'attention sur l'identification erronée des radiations du noyau de la comète 1893 b.

spectrale a été obtenue de 1881 à 1925, vingt-six seulement sont indiquées comme ayant présenté un spectre d'origine inconnue. On ne peut rien dire sur les sept autres : 1882 *a*, 1892 *f*, 1896 *a*, 1904 *a*, 1916 *b*, 1917 *a* et 1924 *c*, parce que les spectrogrammes ont été, ou trop faibles, ou bien ont présenté un spectre continu relativement intense qui a masqué l'émission du noyau.

J'ai trouvé, au total, 115 radiations distinctes ; mais, sur ce nombre, il n'y en a que 36 qui aient été observées avec certitude, dans plusieurs comètes. Ces dernières sont réunies dans le tableau XX. Les 79 autres se trouvent dans le Tableau XXI. Les longueurs d'onde données sont les moyennes des meilleures déterminations faites avec les spectrographes à fente de préférence. L'erreur moyenne ne paraît pas dépasser 1 Ångström. À part le groupe λ 4020,1-4014,5 légèrement diffus des deux côtés — peut-être parce qu'il est formé de plusieurs raies trop serrées — toutes les autres radiations ont l'aspect de lignes fines. La raie intense λ 4313,8 est piquée comme une image stellaire sur tous nos spectrogrammes : on ne peut l'identifier à cause de cela, et comme je l'ai déjà dit à propos de la comète Brooks, avec la tête de bande λ 4314,3 caractéristique du spectre dit des « hydrocarbures ».

Les intensités, qui figurent en regard des longueurs d'onde, ont été appréciées sur les clichés de la comète Brooks (1911 *c*).

TABLEAU XIX

Radiations non identifiées du noyau des comètes.

1881 <i>b</i>	1893 <i>b</i>	1894 <i>b</i>	1895 <i>c</i>	1899 <i>a</i> (suite)
<i>Huggins</i>	<i>Campbell</i>	<i>Campbell</i>	<i>Campbell</i>	
(F) (98)	(F) (231)	(F) (235)	(F) (237)	5 4052
{ 406	4350	4861 d?	4313	4 4042
{ 404	4334,9	4312,6	4298	4 4019
	4313,3	4299,1	{ 4100	4 4014
1892 <i>a</i>	4298,4	4233	{ 4000	2 3987
	4257	4124		
<i>Gothard</i>	4234,5	4097,4	1899 <i>a</i>	1902 <i>b</i>
(F) (221)	4126	4070,7	<i>Wright</i>	<i>De la Baume</i>
4150	4097,9	4050,5	(F) (245)	<i>Pluvinel</i>
4137	4075	4040,9		(PO) (248)
4125	4069	4019	4313	3 4320
4085	4052,3	4013	1 413	3 4290
4065	4043,1	3987	2 4100	1 { 4092
4050	4019,3		3 4074*	3 { 4025
4033	4011,2			3 4000
4007	3988		*Tête dégr. vers le violet.	1 3970

1903 c	1907 d. (suite)	1908 c	1909 c.	1910 a.
<i>Deslandres</i> (F) (250)	<i>Campbell</i> (F) (260)	<i>De la Baume</i> <i>Pluvinel,</i> <i>Baldet.</i>	<i>Slipher,</i> <i>Lampland.</i> (F. PO) (293)	<i>Deslandres,</i> <i>Idrac,</i> (F) (306)
7 4314,4	1 4725	(PO) (268, 282)	630 ±	4317
2 4299,0	1 4720	1 7027	597	4123
4 4101,4	1 4705	1 6848	4724,6	4084,0
4 4063,3	3 4670,7	1 5369	4661,3	4021,0
7 4052,2	1 4486	1 4987*	4651,5	
3 4043,2	1 4452	1 4772*	4313,3	<i>De la Baume</i>
2 4027,1	1 4440	2 4614*	4194,3	<i>Pluvinel,</i>
1 4008,1	1 4419	2 4493	4074,5	<i>Baldet.</i>
1 3998,1	3 4412,2	2 4476*	4067	(PO) (317)
1 3985,2	1 4402	2 4458*	4051,5	2 { 435
	2 4397,5	1 4305	4043,1	{ 431
	1 4350	3 4236*	4039,7	1 412
	1 4335	3 { 4068*	4018	1 404
	2 4316,4	{ 4023*	4004	
	5 4313,8	2 3991*	3990	
	1 4304	1 3969	<i>Evershed</i>	1911 b
	1 4297	1 3949*	(PO) (294)	<i>Lagrule,</i>
	1 4292	1 3932*	? 4646	<i>Chrétien.</i>
	1 4278	1 3721	? 4631	(P O) (318)
	4 4074,0	1 3641	3 4256	450
	3 4068,8	1 3629*	10 4212	444
	2 4065,3	1 3508*	5 4197	430
	3 4052,9	1 3446*	2 4050	425
	5 4050,9	1 3385*	2 4041	414
	5 4042,8	* Traces de	10 4015	411
	4 4039,0	queue.	<i>Max Wolf</i>	405
	3 4020,0		(PO) (298)	402
	1 4014	<i>Deslandres,</i>	3 433	400
	3 4003	<i>Bernard</i>	3 429	397
	2 3990	(PO) (269)	4 410	394
	1 3890	1 466	6 406	
	<i>De la Baume</i>		4 403	<i>De la Baume</i>
	<i>Pluvinel,</i>	<i>Rosenberg</i>	4 398	<i>Pluvinel,</i>
	<i>Baldet</i>	(PO) (277)	<i>De la Baume</i>	<i>Baldet.</i>
	(PO) (264)	4277	<i>Pluvinel,</i>	(PO) (324)
	1 498	4035	<i>Baldet.</i>	8 4644
	2 486	3804	(PO) (304)	1 440
	2 { 434	3700	2 430	2 431
	{ 426	3542	1 { 410	1 429
	3 { 408		{ 398	2 406
	{ 398			2 404
	1 391			
<i>Rosenberg.</i> (PO) (258)				
2 4055				
2 4035				
<i>Evershed</i> (PO) (259)				
4360				
4219 ±				

1911 b (suite)	1911 c (suite)	1911 c (suite)	1911 c (suite)	1911 c (suite)
1 4018	4308, 2	1 6300	0 3974	4 4032, 3
2 3966	6 4300, 0	0 6020, 5	0 3963	8 4015, 5
	4197, 4	0 5994	0 3951	5 3998, 4
1911 c	2 4131, 2	0 5977		6 3993, 6
Bosler	3 4103, 3	1 — 5779	De la Baume	6 3988, 2
(PO) (325)	5 4074, 0	0 5732	Pluvinel,	4 3982, 4
2 431	4049, 0	1 5705	Baldet,	3 3936, 4
2 407	7 4044, 2	0 5692, 5	(PO) (342)	3 3927, 7
3 405	5 4017, 4	0 5418, 5	5 5050, 9	1 3912, 6
2 401	5 3992, 3	0 5178	4 5033, 0	1 3907, 5
1 399	3905, 1	0 5117	3 4929, 3	
	Max Wolf	0 4925, 5	2 4879, 5	1911 f
Jimenez,	(PO) (335)	0 4837, 8	2 4866, 5	Zappa
Carrasco.	4480	0 4753	3 4841, 0	(PO) (345)
(PO) (326)	4468	0 4745	2 4819, 8	437
432	4432	4723	2 4791, 9	430
410	4331, 3	4706	1 4778, 3	408
407	4313, 3	0 4672	6 4669, 1	405
405	4302, 4	1 — 4334, 8	6 4646, 8	399
404	4297, 6	1 — 4329	1 4437, 0	
402	4264	2 4313, 2	1 4428, 6	Be la Baume
	4255	1 — {4303, 8	4 4348, 2	Pluvinel,
Bélopolsky	4242	1 — {4301, 2	5 4338, 0	Baldet.
(F)* (331)	4232	1 — 4297, 4	5 4329, 1	(PO) (346)
4313, 83	4123, 6	0 4292, 2	8 4314, 3	1 4300
4304, 66	4100, 1	0 4265	8 4303, 0	2 4074, 2
4301, 07	4073, 7	0 {4238, 5	8 4297, 7	2 4066, 1
4298, 22	4066, 9	0 {4230	6 4291, 5	3 4051, 9
4292, 6	4050, 1	0 4109	2 4263, 9	3 4040, 7
4054, 53	4039, 7	1 — 4098, 8	2 4255, 4	2 4032, 5
4052, 73	4020, 2	0 4089	2 4246, 5	3 4014, 5
4051, 55	4014, 1	00 4083	3 4222, 8	1 3990
*3 prismes	3993, 6	1 + 4074, 6	3 4203, 3	1 3910, 0
Max Wolf	3987, 3	1 4068, 9	3 4190, 6	
(PO) (334)	3975, 5	2 4051, 5	2 4175, 9	1912 a
1 4476, 4	3962	3 {4043, 0	2 4133, 8	Idrac.
1 4443, 1		3 {4040, 0	2 4125, 9	(PO) (350)
1 4423, 2	Wright.	1 4033, 1	4 4019, 0	405
2 4335, 6	(F) (339)	2 4019, 6	4 4099, 3	402
6 4315, 8	1 6619	1 4013, 7	10 4073, 6	
	1 6598	1 4001, 6	10 4065, 4	
	0 6578	1 3992, 6	10 4050, 8	
		1 — 3988	10 4041, 4	

TABLEAU XX

Spectre non identifié du noyau des comètes. Radiations caractéristiques.

Int.	λ air	ν vide	Int.	λ air	ν vide	Int.	λ air	ν vide
5	6300	15869	6	{ 4304,2	23227	7	4067,7	24577
3	4928,5	20284		{ 4301,1	23243	10	4051,6 (1)	24675
3	4840,4 (3)	20654	3	4291,7	23294	9	{ 4043,0	24727
2	4724,2	21162	2	4264,2	23444		{ 4039,6	24748
1	4477	22330	2	4255,8	23491	3	4032,6	24791
1	4440	22516	1	{ 4238	23589	8 (2)	{ 4020,1 (3)	24868
1	4430	22567		{ 4230	23634		{ 4014,5	24903
1	4412	22659	1	4124,6	24238	4	4002,0 (3)	24981
2	4350	22982	3	4109,3	24328	4	3993,1	25036
3	4335	23062	3	4099,6	24385	3	3988,4	25066
3	4329	23094	2	4085,1	24473	2	3968,4	25192
9	4313,8	23175	9	4074,0	24539	2	3910,9	25562

(1) Probablement un satellite à λ 4052,7.

(2) Groupe diffus constitué probablement par un groupe de lignes serrées.

(3) Ces radiations ne doivent pas être confondues avec celles à λ 4839,6 et 4019,8-3999,5 du 3^e groupe négatif du carbone.

TABLEAU XXI

Spectre non identifié du noyau des comètes. Radiations faibles, rares ou douteuses.

7027	5705	4948	4720	4452	4203,3	4052,7	3804
6848	5692,5	4879,5	4705,5	4421	4197	4025	3721
6619	5418,5	4874	4661,3	4402	4191,6	3982,4	3700
6598	5178	4866,6	4645,6	4397,5	4175,9	3974,8	3641
6578	5117	4819,8	4631	4316,4	4150	3962,5	3629
6020,5	5050,9	4791,9	4614	4308,2	4137,5	3950	3542
5994	5033,0	4778,3	4493	4277,5	4133,8	3935	3508
5977	5008	4771,9	4486	4246,5	4089	3927,7	3446
5779	4971,1	4753	4468	4222,8	4065,3	3906,3	3385
5732	4962,5	4745	4458	4212	4054,5	3890	

Le dessin schématique (fig. 3) représente, suivant une dispersion prismatique, les trente-six radiations principales avec des hauteurs proportionnelles à leurs intensités.

59. *Conclusions. Spectre de lignes.* — Les essais que j'ai tentés pour les faire rentrer dans une formule de Deslandres ou de Rydberg n'ont donné aucun résultat.

Ce dernier fait, ajouté à ce qui a déjà été dit sur leur finesse, me permet de conclure que le spectre d'émission du noyau est très probablement un spectre de lignes. Ceci est d'autant plus intéressant à noter que la tête et la queue donnent exclusivement, en général, des spectres de bandes.

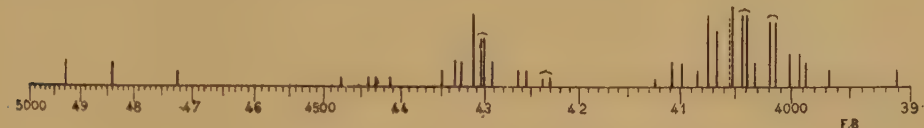


Fig. 3. — Spectre non identifié du noyau des comètes.

Ces lignes brillantes sont aussi caractéristiques de la lumière du noyau que les bandes de Swan et du cyanogène le sont pour la tête, et que les bandes doubles du 3^e groupe négatif du carbone le sont pour la queue.

IV. — VUE D'ENSEMBLE ET BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE.

60. *Identification des spectres des comètes de 1864 à 1925.* — J'ai résumé dans le Tableau XXII les résultats des identifications des spectres de toutes les comètes observées de 1864 à 1925. Le spectre continu, toujours présent puisqu'il provient de la diffusion moléculaire de la lumière du Soleil, n'a été indiqué que lorsqu'il a présenté un caractère exceptionnel.

Pour que ce tableau soit complet, j'y ai inscrit les résultats de l'identification de la comète Brorsen 1868 *a* dont on trouvera l'étude plus loin.

La première colonne du Tableau donne le numéro d'ordre de la comète, dont le nom et la désignation provisoire se trouvent dans la colonne suivante. Cette désignation a été indiquée de préférence à la désignation définitive parce que c'est elle qui a été presque exclusivement adoptée par les auteurs. Dans la troisième colonne on trouvera la nature de l'observation : V = visuelle, P = photographique avec un spectrographe à fente, P-O = photographique au prisme-objectif. Enfin la quatrième donne les résultats de l'identification. Par *noyau*, nous entendons le spectre dont la description a été donnée précédemment.

TABLEAU XXII

Spectre des comètes observées de 1864 à 1925.

Observateurs.

A = Ch. André.	B = Th. Bredichin.
Al = S. Albrecht.	Ba = T.-W. Backhouse.
Ar = D'Arrest.	Bb = N.-T. Bobrovnikoff.
Az = L. d'Azambuja.	Bd = F. Baldet.

Be = A. Bernard.
 Bo = J. Bosler.
 Bp = A. de la Baume-Pluvinel.
 Bu = C.-P. Butler.
 By = A. Bèlopolsky.
 C = W.-H.-M. Christie.
 Ca = G. Cacciatore.
 Ch = H. Chrétien.
 Co = Ralph Copeland.
 Cp = W.-W. Campbell.
 Cr = L. Cruls.
 Cs = P. Carrasco.
 Cu = H.-D. Curtis.
 D = G.-B. Donati.
 De = M. Delafontaine.
 Dl = H. Deslandres.
 Dr = H. Draper.
 Du = M.-N.-C. Dunér.
 E = L.-A. Eddie.
 Ev = J. Evershed.
 F = Fiévez.
 Fo = A. Fowler.
 Fr = E.-B. Frost.
 G = Gouy.
 Gi = David Gill.
 Gl = Estelle Glancy.
 Go = E. de Gothard.
 H = W. Huggins.
 Ha = G.-E. Hale.
 Hn = Algot Hansson.
 Hr = W. Harkness.
 Hs = B. Hasselberg.
 Ht = J. Hartmann.
 Id = P. Idrac.
 In = Fr. Iñiguez.
 Ji = P. Jimenez.
 K = N. von Konkoly.
 Ke = J. E. Keeler.
 Kf = P. Kempf.
 Ko = R. von Kővesligethy.
 L = J.-C. Lohse.
 La = C.-O. Lampland.
 Lg = J. Lagrula.
 Lk = J. Norman Lockyer.
 Lo = W.-J.-S. Lockyer.
 Lu = Mc Laughlin.

Lw = P. Lowell.
 M = E.-W. Maunder.
 Mi = A.-F. Miller.
 Mn = W. Münch.
 Mu = G. Müller.
 N = W. Noble.
 Ne = H.-F. Newall.
 P = Perrotin.
 Pa = J. Parkhurst.
 Pe = S.-J. Perry.
 Pi = E.-C. Pickering.
 Pl = V. der Pahlen.
 Pr = C.-D. Perrine.
 Qué = F. Quénisset.
 R = G. Rayet.
 Ra = Ranyard.
 Rc = J. Rand Capron.
 Rg = G. Rougier.
 Ri = A. Riccò.
 Ro = H. Rosenberg.
 Ru = H.-C. Russel.
 S = A. Secchi.
 Sa = W.-T. Sampson.
 Sc = A. Schwassmann.
 Se = G.-M. Seabroke.
 Sg = M. Selga.
 Sh = O.-T. Sherman.
 Sl = E.-C. Slipher.
 So = F. Slocum.
 Sr = J. Storey.
 St = F.-J.-M. Stratton.
 T = L. Thollon.
 Ta = P. Tacchini.
 Te = L. Terkán.
 Ti = F. Tietjen.
 Tk = G.-A. Tikhov.
 Tr = Ch. Trépied.
 V = H. Vogel.
 Vo = N.-V. Voitkevic-Peliakova.
 Vs = S. Vsechsviatky.
 W = C. Wolf.
 Wo = Max Wolf.
 Wr = W.-H. Wright.
 Y = C.-A. Young.
 Z = T. Zona.
 Za = G. Zappa.

Résultats.

N ^o	Comète	Obs.	Identification	Observateurs
1	Tempel 1864 <i>a</i>	V	Swan	D.
2	Tempel 1865 <i>f</i>	V	Swan ou 3 ^e gr. nég. C (?) ..	S, H.
3	Tempel I 1867 <i>b</i>	V	Swan ou 3 ^e gr. nég. C (?) ...	H.
4	Brorsen 1868 <i>a</i>	V	3 ^e groupe nég. du C.....	S, H.
5	Winnecke 1868 <i>b</i>	V	Swan	S, H.
6	Winnecke 1869 <i>a</i>	V	Trois bandes non mesurées Swan (?)	W.
7	Winnecke 1870 <i>a</i>	V	Trois bandes non mesurées Swan (?)	W, R.
8	Winnecke 1871 <i>a</i>	V	Swan	H, V.
9	Encke 1871 <i>c</i>	V	Swan, Cy (?)	H, Y, V, Ti, Hr.
10	Tuttle 1871 <i>d</i>	V	Swan	V.
11	Borrelly 1873 <i>c</i>	V	Swan	W, R, V.
12	Henry 1873 <i>d</i>	V	Swan	V.
13	Winnecke 1874 <i>b</i>	V	Swan	S, V.
14	Coggia 1874 <i>c</i>	V	Swan	{ H, R, W, S, B, Ta, K, Ar, V, C, De.
15	Borrelly 1874 <i>d</i>	V	Swan	K.
16	Encke 1875 <i>a</i>	V	Swan	K.
17	Borrelly 1877 <i>a</i>	V	Swan	S, K, Hr.
18	Winnecke 1877 <i>b</i>	V	Swan	Co, C, M, W, S, V, B.
19	Swift-Borrelly ... 1877 <i>c</i>	V	Swan (?)	Co, Lo.
20	Brorsen 1879 <i>a</i>	V	Swan et une bande non iden- tifiée	Y, K, C, M, H, Co, Lo
21	Palisa 1879 <i>d</i>	V	Swan	K, V, Co, Lo.
22	Hartwig 1880 <i>e</i>	V	Swan	B, Y, K, C, Co, Lo.
23	Pechüle 1880 <i>g</i>	V	Swan	K, Co.
24	Cruls-Tebbutt ... 1881 <i>b</i>	V, P	Swan. Cy. Sodium. Raies de Fraunhofer. Noyau	{ H, T, Ta, N, C, M, Dr, Ba, Y, Ra, Hr, G, V, W, F, K, Se, Hs, Co, Lo, Pe, Rc, Mü, Kf, Ru.
25	Schaeberle 1881 <i>c</i>	V	Swan. Sodium (?)	V, T, Ta, K, N, M, Hs, Co, Lo.
26	Encke 1881 <i>d</i>	V	Swan	Ta.
27	Wells 1882 <i>a</i>	V, P	Swan. Sodium. Noyau. Fort spectre continu. Raies de Fraunhofer. Variations du spectre remarquables	{ K, Go, T, H, Hs, B, V, Ba, Co, Lo, Du, M, Ri, Ta, G.
28	Cruls 1882 <i>b</i>	V	Swan Sodium. Raies de Fraunhofer faibles. Spectre continu. Fer (?).....	{ T, G, Cr, K, V, Hs, Ri, Go, Ta, Sa, Co, Lo, Se.
29	Swift-Brooks 1883 <i>a</i>	V	Swan	V, K, Go, Ri.

N ^o	Comète	Obs.	Identification	Observateurs
30	Pons 1883 <i>b</i>	V	Swan	{ M, K, Go, Cr, Hs, V. Kô, Ri, Tr, R, T, P
31	Barnard 1884 <i>b</i>	V	Swan	P.
32	Wolf 1884 <i>c</i>	V	Swan	P.
33	Encke 1884 <i>d</i>	V	Swan	Tr.
34	Barnard 1885 <i>a</i>	V	Swan	T, P.
35	Fabry 1885 <i>d</i>	V	Swan	R, T, Tr, P, Cr, Go, Z.
36	Barnard 1885 <i>e</i>	V	Swan	Go, Z.
37	Brooks I 1886 <i>e</i>	V	Swan	Sh.
38	Barnard-Hartwig 1886 <i>f</i>	V	Swan	Go.
39	Sawerthal..... 1888 <i>a</i>	V	Swan faible. Fort spectre continu	M, Ca, K, Ri, Ta, Z.
40	Barnard 1888 <i>e</i>	V	Swan faible. Fort spectre continu	M, Co.
41	Davidson 1889 <i>e</i>	V	Swan	Ke.
42	Borrelly 1889 <i>g</i>	V	Swan	Ba.
43	Brooks 1890 <i>a</i>	V	Swan	Lk.
44	Swift..... 1892 <i>a</i>	V, P	Swan. Cy. Noyau	K, Go, Cp.
45	Brooks 1892 <i>d</i>	V	Swan	Cp.
46	Holmes..... 1892 <i>f</i>	V, P	Faibles traces de Swan. Spectre continu marqué	Ke, Cp, V, K.
47	Rordame-Quénisset 1893 <i>b</i>	V, P	Swan. Cy. Noyau	Cp, Ha, Ke.
48	Brooks 1893 <i>c</i>	V	Swan. Cy. Une bande non identifiée	Cp.
49	Gale 1894 <i>b</i>	V, P	Swan. Cy. Noyau	Fo, Cp.
50	Perline 1895 <i>e</i>	V, P	Swan. Cy. Noyau	Cp.
51	Brooks 1895 <i>d</i>	V	Swan	Cp.
52	Perrine-Lamp ... 1896 <i>a</i>	V, P	Swan. Cy	Cp.
53	Swift..... 1896 <i>b</i>	V	Swan	Cp.
54	Brooks..... 1896 <i>c</i>	V	Spectre continu. Faibles traces de Swan	Cp.
55	Perrine 1898 <i>b</i>	V	Swan	Wr.
56	Coddington 1898 <i>d</i>	V	Swan faible. Spectre continu intense	Wr, Cp.
57	Brooks 1898 <i>j</i>	V	Swan	Wr, Cp.
58	Swift..... 1899 <i>a</i>	V, P	Swan. Cy. Noyau	Wr.
59	Tempel II 1899 <i>d</i>	V	Faible spectre continu. Pas de bandes.....	E.
60	Viscara 1901 <i>a</i>	V	Spectre continu. Ni lignes ni bandes (observations incomplètes)	Gi.
61	Perrine-Borrelly.. 1902 <i>b</i>	V, P-O	Swan. Cy. Noyau	Bp, Mi.
62	Borrelly 1903 <i>c</i>	{ V, P P-O	Swan. Cy. Noyau	DI, Pr, K, Go, Bp (1).

(1) Observation non publiée.

N°	Comète	Obs.	Identification	Observateurs
63	Brooks	1904 a P, P-O	Swan faible. Spectre continu assez intense	Pi.
64	Daniel.....	1907 d { V, P P-O	Swan, Cy rouge et violet. C 3 ^e gr. nég. Sodium. Noyau. Raies de Fraunhofer	{ Dl, Be, Ch, Bo, Ro, Ev, Cp, By, Pi, Bp, Bd, Sl.
65	Morehouse.....	1908 c { V, P P-O	Swan. Cy. C 3 ^e gr. nég. remarquable. Azote négatif. Noyau. Spectre continu à peine visible	{ Bp, Bd, Dl, Be, Bo, Pi, Ht, Ro, Fr, Pa, Cp, Al, Cu, Fo, K, Ri.
66	Halley	1909 c { V, P P-O	Swan. Cy violet, rouge (?). C 3 ^e gr. nég. Sodium. Noyau. Spectre continu intense. Raies de Fraunhofer.	{ Wr, Dl, Be, Id, Fr, Pa, In, Sl, La, Ev, Bu, Ri, Mn, Pl, K, Bp, Bd, So, Wo.
67	Grande comète ..	1910 a { V, P P-O	Swan. Cy violet, rouge (?). Sodium. Noyau. Spectre continu de la queue. Raies de Fraunhofer	{ Dl, Be, Az, Id, Bp, Bd, Né, Wr, Al, Ri, K.
68	Kiess.....	1911 b { V, P P-O	Swan. Cy. C. 3 ^e gr. nég. Azote négatif. Noyau	{ Lg, Ch, Bp, Bd, Wo Pi, St, K.
69	Brooks.....	1911 c { V, P P-O	Swan. Cy violet, rouge (?). C. 3 ^e gr. nég. Sodium. Noyau intense. Variations du spectre remarquables..	{ Bo, Ji, Cs, Lg, Ch, Bp, Bd, St, By, In, K, Lo, Wo, Sr, Wr, Vo, Te, Vs.
70	Quénisset	1911 f V, P-O	Swan. Cy. C. 3 ^e gr. nég. Noyau	Qé, Bd, Za.
71	Beljowsky	1911 g V	Swan. Cy.....	K, Wr, K.
72	Gale	1912 a V, P-O	Swan. Cy. C. 3 ^e gr. nég. Noyau	Qé, Id, Pa, Sc, In.
73	Schaumasse	1913 a P-O	Swan. Cy. Noyau	Bo.
74	Metcalf	1913 b P-O	Swan, Cy. Noyau	Bo.
75	Delavan	1913 f V, P	Swan. Cy. Sodium. Noyau. Spectre continu intense	By, K, Cu, Lu.
76	Zlatinsky	1914 b V, P	Swan. Cy. Noyau	Se, K, Sl, Pa.
77	Encke	1914 d P-O	Swan. Cy. Noyau	Tk.
78	Mellish.....	1915 a P, P-O	Swan. Cy. C. 3 ^e gr. nég. Noyau Variations du spectre	Lw, Sl, Gl.
79	Max Wolf	1916 b P	Swan très faible. Cy faible. Spectre continu intense ..	Sl.
80	Mellish	1917 a P-O	Swan. Cy. Azote négatif (?). C. 3 ^e gr. nég. (?)	Fr.
81	Metcalf	1919 b P	Swan. Cy. Noyau	Sl.
82	Reid	1921 a P	Swan. Cy. Noyau	Hn.
83	Encke	1924 b P, P-O	Swan. Cy. Noyau	Tk.
84	Finsler	1924 c P-O	Swan. Cy	Pa.
85	Orkisz....	1925 c P-O	Swan. Cy. Noyau. Spectre continu intense	Bb, Rg.
86	Tempel II	1925 d P-O	Swan. Cy. C. 3 ^e gr. nég. Noyau	Bb.

61. *Index bibliographique des observations spectrales.* — Les mémoires originaux seuls ont été indiqués. Les traductions ou reproductions dans d'autres périodiques ont été omises.

TABLEAU XXIII

Index bibliographique des observations spectrales.

Abréviations des périodiques cités.

A. N.	<i>Astronomische Nachrichten</i> Altona (Kiel).
Am. J. S.	<i>American Journal of Science and Arts</i> (New-Haven).
Ann. Meudon ...	<i>Annales de l'Observatoire d'astronomie physique de Paris</i> , sis au Parc de Meudon (Paris).
Ann. Moscou....	<i>Annales de l'Observatoire de Moscou</i> (Moscou.)
Aph. J.	<i>Astrophysical (The) Journal</i> (Chicago).
Arch. S. P. N....	<i>Archives des Sciences physiques et naturelles</i> (Lausanne).
Astr.	<i>Astronomie (L')</i> . <i>Bulletin de la Société Astronomique de France</i> (Paris).
Ast. Aph.	<i>Astronomy and Astro-Physics</i> (Northfield, Minn.).
Astron. J.	<i>Astronomical (The) Journal</i> (Albany).
At. Ac. Linc....	<i>Atti della Reale Accademia dei Lincei</i> (Rome).
Athm.	<i>Athmosphaera</i> (Budapest).
Beob. O'Gyalla..	<i>Beobachtungen angestellt am astro-physikalischen Observatorium in O'Gyalla</i> (Halle, Budapest).
Ber. Leip	<i>Bericht über die Verhandlungen der Kgl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig</i> (Leipzig).
Boll. Cat.	<i>Bolletino mensile dell'Accademia gioenia di scienze naturali in Catania</i> (Catania).
Bull. Ac. Belg....	<i>Bulletin de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique</i> . (Bruxelles).
Bull. Ac. Pét. ...	<i>Bulletin de l'Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg</i> (Saint-Petersbourg).
C. R.	<i>Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences</i> (Paris).
Cop.....	<i>Copernicus</i> (Dublin).
Harv. Bull.	<i>Harvard College Observatory, Bulletin</i> (Cambridge, Mass.).
Harv. Circ.	<i>Harvard College Observatory, Circulars</i> (Cambridge, Mass.).
J. obs.	<i>Journal des Observateurs</i> (Marseille).
J. S. Can.	<i>Journal of the Royal Astronomical Society of Canada</i> (Toronto).
J. S. N. S.-W....	<i>Journal and Proceedings of the Royal Society of New-South-Wales</i> (Sydney).
Lick. Bull.	<i>Lick Observatory Bulletin</i> (Berkeley).
Low. Bull.	<i>Lowell Observatory Bulletin</i> (Flagstaff).
M. N.	<i>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society</i> (London).
Mem. B. A. A. ...	<i>Memoirs of the British Astronomical Association</i> (London).
Mem. Sp. It.	<i>Memorie della Società degli spettroscopisti italiani</i> (Palermo, Catania).
Mitt. Pulk.	<i>Mitteilungen der Nikolai Hauptsternwarte zu Pulkowo</i> (Pulkowo).
Nat.....	<i>Nature</i> (London).
Obs.....	<i>Observatory (The)</i> . (London).

- P. R. S. *Proceedings of the Royal Society of London* (London).
 Ph. Trans. *Philosophical (The) Transactions* (London).
 Pop. Ast. *Popular Astronomy* (Northfield, Minn.).
 Publ. Pac. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* (San Francisco).
 Publ. Pots. *Publicationen des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam* (Potsdam).
 Publ. U. S. N. . . *Publications of the U. S. Naval Observatory* (Washington).
 Rev. Esp. *Revista de la Sociedad astronómica de España y America* (Barcelona).
 Sc. *Science* (New-York).
 Sitz. Heid. *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften* (Heidelberg).

Bibliographie.

1864 a

1. Donati, *A. N.*, **62**, 1864, 375.

1865 f

2. Huggins, *P. R. S.*, **15**, 1866, 5.
 3. Secchi, *C. R.*, **62**, 1866, 210.

1867 b

4. Huggins, *M. N.*, **27**, 1867, 288.

1868 a

5. Secchi, *C. R.*, **66**, 1868, 881.
 6. — — — — 1188.
 7. — — **67**, 1868, 142.
 8. Prazmowski, *C. R.*, **66**, 1868, 1109.
 9. Huggins, *P. R. S.*, **16**, 1868, 386.

1868 b

10. Secchi, *C. R.* **66**, 1868, 1299.
 11. — — **67**, 1868, 142.
 12. C. Wolf, *C. R.*, **66**, 1868, 1336.
 13. Huggins, *P. R. S.*, **16**, 1868, 481.
 14. — *Ph. Trans.*, **158**, 1868, 555.

1869 a

15. C. Wolf, *C. R.*, **68**, 1869, 1470.

1870 a

16. C. Wolf et Rayet, *C. R.*, **71**, 1870, 49.

1871 a

17. Huggins, *P. R. S.*, **19**, 1871, 488.
 18. Vogel, *A. N.*, **77**, 1871, 251.
 19. — — — — 285.

1871 c

20. Huggins, *P. R. S.*, **20**, 1871, 45.
 21. Vogel, *Ber. Leip.*, 1871, 635.
 22. Young, *Am. J. S.* (3), **3**, 1872, 80.
 23. Harkness, *Publ. U. S. N.*, 2^d App, 1872,
Am. J. S., **5**, 1874, 320.

1871 d

24. Vogel, *Ber. Leip.*, 1871, 650.

1873 c

25. C. Wolf et Rayet, *C. R.*, **77**, 1873, 529.
 26. Vogel, *A. N.*, **82**, 1873, 217.

1873 d

27. Rayet et André, *C. R.*, **77**, 1873, 564.
 28. Vogel, *A. N.*, **82**, 1873, 217.
 29. — — — — 297.

1874 b

30. Secchi, *C. R.*, **78**, 1874, 1467.
 31. — *Mem. Sp. It.*, **3**, 1874, 29.
 32. — — — — 117.

33. Secchi, *Mem. Sp. It.*, **3**, 1874, 121.
34. Vogel, *A. N.*, **85**, 1874, 17.

1874 c

35. Rayet, *C. R.*, **78**, 1874, 1650.
36. — — **79**, 1874, 369.
37. Secchi, *C. R.*, **78**, 1874, 1474.
38. — — **79**, 1874, 20.
39. — — — — 284.
40. — *Mem. Sp. It.* **3**, 1874, 77.
41. — — — — 117.
42. — — — — 121.
43. Huggins, *P. R. S.*, **23**, 1874, 154.
44. Delafontaine, *Arch. S. P. N.*, (3), **51**,
1874, 43.
45. Bredichin, *Mem. Sp. It.*, **3**, 1874, 78.
46. — *Ann. Moscou*, **2**, 1875, 88.
47. Tacchini, *Mem. Sp. It.*, **3**, 1874, 79.
48. Konkoly, *A. N.*, **84**, 1874, 173.
49. D'Arrest, *A. N.*, **84**, 1874, 137.
50. — — — — 171.
51. J.-N. Lockyer, *Nat.*, **10**, 1874, 226.
52. Vogel, *A. N.*, **85**, 1874, 17.
53. Christie, *M. N.*, **34**, 1874, 491.

1874 d.

54. Konkoly, *Beob. O'Gyalla*, **1**, 1879, 22.

1875 a

55. Konkoly, *A. N.*, **85**, 1875, 317.

1877 a

56. Secchi, *C. R.*, **84**, 1877, 427.
57. Konkoly, *A. N.*, **89**, 1877, 169.
58. Harkness, *A. N.*, **90**, 1877, 171.

1877 b

59. C. Wolf, *C. R.*, **84**, 1877, 930.
60. Secchi, *C. R.*, **84**, 1877, 1289.
61. Copeland et Lohse, *M. N.*, **37**, 1877, 430.
62. Christie et Maunder, *M. N.*, **37**, 1877, 469.
63. Bredichin, *Ann. Moscou*, **4**, 1878, 104.
64. Vogel, *A. N.*, **96**, 1880, 189.

1877 c

65. Copeland et Lohse, *M. N.*, **37**, 1877, 432.

1879 a

66. Young, *Am. J. S.*, (3), **17**, 1879, 373.
67. Christie et Maunder, *M. N.*, **39**, 1879, 428
68. Copeland et Lohse, *M. N.*, **39**, 1879, 430.
69. Huggins, *Nat.*, **19**, 1879, 579.
70. Christie, *Nat.*, **20**, 1879, 5.
71. — — — — 75.
72. Konkoly, *A. N.*, **94**, 1879, 335.
73. — — **95**, 1879, 193.
74. — *Obs.*, **3**, 1879, 103.
75. Bredichin, *Ann. Moscou*, **6**, (1), 1879, 103.

1879 d

76. Copeland et Lohse, *M. N.*, **40**, 1879, 23.
77. Vogel, *A. N.*, **96**, 1879, 189.
78. Konkoly, *A. N.*, **96**, 1879, 39.
79. — *Obs.*, **3**, 1879, 193.

1880 e

80. Christie, *Nat.*, **22**, 1880, 557.
81. — *M. N.*, **41**, 1880, 52.
82. Bredichin, *A. N.*, **98**, 1880, 271.
83. Young, *A. N.*, **98**, 1880, 349.
84. Konkoly, *Obs.*, **3**, 1880, 592.
85. Copeland et Lohse, *Cop.*, **1**, 1881, 1.

1880 g

86. Konkoly, *A. N.*, **99**, 1881, 93.
87. Copeland, *Cop.*, **1**, 1881, 40.

1881 b

88. Thollon, *C. R.*, **92**, 1881, 1481.
89. — — **93**, 1881, 37.
90. — — — — 259.
91. — — — — 383.
92. Thollon et Gouy, *C. R.*, **95**, 1882, 712.
93. Huggins, *C. R.*, **92**, 1881, 1483.
94. — — **93**, 1881, 26.

95. — *A. N.*, **100**, 1881, 143.
 96. — *Nat.*, **24**, 1881, 200.
 97. — — — — 464.
 98. — *P. R. S.*, **33**, 1881, 1.
 99. C. Wolf, *C. R.*, **93**, 1881, 36.
 100. Tacchini, *C. R.*, **93**, 1881, 261.
 101. — *Mem. Sp. It.*, **12**, 1883, 179.
 102. Respighi, *C. R.*, **93**, 1881, 439.
 103. Airy, *M. N.*, **42**, 1881, 14.
 104. Noble, *M. N.*, **42**, 1881, 47.
 105. Fiévez, *Bull. Ac. Belg.*, (3), **1**, 1881.
 106. Draper, *Am. J. S.*, (3), **22**, 1881, 134.
 107. Young, *Am. J. S.*, (3), **22**, 1881, 135.
 108. Harkness, *Am. J. S.*, **22**, 1881, 137.
 109. Christie, *Nat.*, **24**, 1881, 200.
 110. — — — — 236.
 111. Seabroke, *Nat.*, **24**, 1881, 201.
 112. — — — — 431.
 113. Perry, *Nat.*, **24**, 1881, 200.
 114. — — — — 221.
 115. Rand Capron, *Nat.*, **24**, 1881, 285.
 116. — — — — 431.
 117. Konkoly, *Obs.*, **4**, 1881, 257.
 118. Vogel, *A. N.*, **100**, 1881, 301.
 119. — *Publ. Pots.*, **2**, 1881, 176.
 120. Hasselberg, *Bull. Ac. Pét.*, **27**, 1881, 1.
 121. Russel, *J. S. N. S.-W.*, **15**, 1881, 81.
 122. Backhouse, *M. N.*, **42**, 1882, 413.
 123. Copeland et Lohse, *Cop.*, **2**, 1882, 225.

1881 c

124. Thollon, *C. R.*, **93**, 1881, 37.
 125. — — — — 259.
 126. — — — — 383.
 127. Tacchini, *C. R.*, **93**, 1881, 261.
 128. — *Mem. Sp. It.*, **12**, 1883, 181.
 129. Maunder, *M. N.*, **42**, 1881, 14.
 130. Noble, *M. N.*, **42**, 1881, 47.
 131. Konkoly, *Obs.*, **4**, 1881, 260.
 132. Vogel, *A. N.*, **100**, 1881, 301.
 133. Hasselberg, *Bull. Ac. Pét.*, **27**, 1881, 1.
 134. Copeland et Lohse, *Cop.*, **2**, 1882, 225.

1881 d

135. Tacchini, *C. R.*, **93**, 1881, 949.
 136. — *Mem. Sp. It.*, **12**, 1883, 184.

1882 a

137. Tacchini, *C. R.*, **94**, 1882, 1033.
 138. — *A. N.*, **102**, 1882, 93.
 139. — *Mem. Sp. It.*, **11**, 1882, 77.
 140. — — — — **13**, 1884, 17.
 141. Huggins, *C. R.*, **94**, 1882, 1689.
 142. — *P. R. S.*, **34**, 1882, 148.
 143. Maunder, *M. N.*, **42**, 1882, 351.
 144. — — — — 410.
 145. Backhouse, *Nat.*, **26**, 1882, 56.
 146. Copeland, *Nat.*, **26**, 1882, 137.
 147. Copeland et Lohse, *Cop.*, **2**, 1882, 225.
 148. Riccò, *Mem. Sp. It.*, **11**, 1882, 76.
 149. Konkoly, *Obs.*, **5**, 1882, 290.
 150. Vogel, *A. N.*, **102**, 1882, 159.
 151. — — — — 199.
 152. Duner, *A. N.*, **102**, 1882, 159.
 153. — — — — 169.
 154. — *M. N.*, **42**, 1882, 412.
 155. — *Mem. Sp. It.*, **11**, 1882, 73.
 156. Bredichin, *A. N.*, **102**, 1882, 207.
 157. Hasselberg, *A. N.*, **102**, 1882, 259.
 158. — *Mem. Sp. It.*, **11**, 1882, 1.

1882 b

159. Thollon et Gouy, *C. R.*, **95**, 1882, 555.
 160. — — — — 712.
 161. — — — — **96**, 1883, 371.
 162. Cruls, *C. R.*, **95**, 1882, 825.
 163. Ricco, *Mem. Sp. It.*, **11**, 1882, 15.
 164. Copeland et Lohse, *Cop.*, **2**, 1882, 239.
 165. Seabroke, *Nat.*, **26**, 1882, 622.
 166. Sampson, *Nat.*, **27**, 1882, 108.
 167. — *Astr.*, **2**, 1883, 71.
 168. Vogel, *A. N.*, **103**, 1882, 279.
 169. Hasselberg, *A. N.*, **104**, 1882, 13.
 170. Gothard, *M. N.*, **43**, 1883, 424.
 172. — *A. N.*, **103**, 1882, 377.
 173. — — — — **105**, 1883, 311.
 174. Konkoly, *A. N.*, **104**, 1882, 45.
 175. Tacchini, *Mem. Sp. It.*, **13**, 1884, 19.

1883 a

176. Riccò, *Mem. Sp. It.*, **12**, 1883, 79.

177. Konkoly, *M. N.*, **43**, 1883, 328.
178. — *A. N.*, **105**, 1883, 75.
179. Vogel, *A. N.*, **104**, 1883, 381.
180. Gothard, *A. N.*, **105**, 1883, 135.

1883 b

181. Rayet, *C. R.*, **97**, 1883, 1352.
182. Trépied, *C. R.*, **97**, 1883, 1540.
183. — — **98**, 1884, 32.
184. Maunder, *M. N.*, **44**, 1883, 62.
185. Konkoly, *A. N.*, **107**, 1883, 41.
186. — *M. N.*, **44**, 1884, 251.
187. Thollon, *C. R.*, **98**, 1884, 33.
188. Vogel, *A. N.*, **108**, 1884, 21.
189. Hasselberg, *A. N.*, **108**, 1884, 55.
190. Kövesligethy, *A. N.*, **108**, 1884, 169.
191. Gothard, *A. N.*, **109**, 1884, 99.
192. Cruls, *A. N.*, **109**, 1884, 111.
193. Ricco, *Mem. Sp. It.*, **13**, 1884, 39.

1884 b

194. Perrotin, *C. R.*, **99**, 1884, 534.

1884 c

195. Perrotin, *C. R.*, **99**, 1884, 565.

1884 d

196. Trépied, *C. R.*, **100**, 1885, 616.

1885 a

197. Charlois, *C. R.*, **101**, 1885, 232.

1885 d

198. Rayet, *C. R.*, **102**, 1886, 970.
199. Trépied, *C. R.*, **102**, 1886, 1009.
200. Cruls, *C. R.*, **102**, 1886, 1364.
201. Zona, *A. N.*, **114**, 1886, 235.
202. Gothard, *A. N.*, **116**, 1887, 121.

1885 e

203. Zona, *A. N.*, **114**, 1886, 235.
204. Gothard, *A. N.*, **116**, 1887, 122.

1886 c

205. Sherman, *Am. J. S.*, (3), **32**, 1886, 157.

1886 f

206. Gothard, *A. N.*, **116**, 1887, 122.

1888 a

207. Tacchini, *Mem. Sp. It.*, **17**, 1888, 54.
208. Maunder, *M. N.*, **48**, 1888, 344.
209. — — **49**, 1889, 307.
210. Cacciatore, *A. N.*, **119**, 1888, 15.
211. Ricco et Zona, *A. N.*, **119**, 1888, 89.
212. Konkoly, *A. N.*, **119**, 1888, 141.

1888 e

213. Copeland, *M. N.*, **49**, 1888, 70.
214. Maunder, *M. N.*, **49**, 1889, 307.

1889 e

215. Keeler, *Publ. Pac.*, **1**, 1889, 36.

1889 g

216. Backouse, *Obs.*, **13**, 1890, 90.

1890 a

217. J.-N. Lockyer, *P. R. S.*, **48**, 1890, 217.

1892 a

218. Campbell, *Ast. Aph.*, **11**, 1892, 523.
219. — — — — 698.
220. Konkoly, *A. N.*, **129**, 1892, 259.
221. Gothard, *A. N.*, **129**, 1892, 405.

1892 d

222. Campbell, *A. N.*, **131**, 1892, 211.

1892 f

223. Keeler, *Astr. Aph.*, **11**, 1892, 929.
224. — — **12**, 1893, 272.

225. Campbell, *A. N.*, **131**, 1892, 211.
 226. Vogel, *A. N.*, **131**, 1893, 373.
 227. Konkoly, *Ast. Aph.*, **12**, 1893, 645.

1893 b

228. Keeler, *Ast. Aph.*, **12**, 1893, 650.
 229. — — — — 751.
 230. Hale, *Ast. Aph.*, **12**, 1893, 653.
 231. Campbell, *A. N.*, **133**, 1893, 149.
 232. — *Ast. Aph.*, **13**, 1894, 571.

1893 c

233. Campbell, *Publ. Pac.*, **5**, 1893, 208.
 234. — *Ast. Aph.*, **13**, 1894, 571.

1894 b

235. Campbell, *Astron. J.*, **14**, 1894, 111.
 236. Fowler, *Nat.*, **50**, 1894, 36.

1895 c

237. Campbell, *Aph. J.*, **5**, 1897, 237.

1895 d

238. Campbell, *Aph. J.*, **5**, 1897, 237.

1896 a

239. Campbell, *Aph. J.*, **5**, 1897, 237.

1896 b

240. Campbell, *Aph. J.*, **5**, 1897, 238.

1896 c

241. Campbell, *Aph. J.*, **5**, 1897, 238.

1898 b

242. Wright, *Aph. J.*, **10**, 1899, 173.

1898 d

243. Wright, *Aph. J.*, **10**, 1899, 173.

1898 j

244. Wright, *Aph. J.*, **10**, 1899, 173.

1899 a

245. Wright, *Aph. J.*, **10**, 1899, 173.

1899 d

246. Eddie, *M. N.*, **59**, 1899, 570.

1901 a

247. David Gill, *M. N.*, **61**, 1901, 508.

1902 b

248. De la Baume Pluvinel, *C. R.*, **136**, 1903, 743.
 249. Miller, *Sc.*, **16**, 1902, 868.

1903 c

250. Deslandres, *C. R.*, **137**, 1903, 393.
 251. Perrine, *Lick Bull.*, **47**, **2**, 1903, 128.
 252. Konkoly, *Athm.*, **7**, 1903, 277.

1904 a

253. E.-C. Pickering, *A. N.*, **165**, 1904, 159.

1907 d

254. Deslandres et Bernard, *C. R.*, **145**, 1907, 445.
 255. Deslandres, *C. R.*, **145**, 1907, 843.
 256. Chrétien, *C. R.*, **145**, 1907, 549.
 257. Bosler, *C. R.*, **145**, 1907, 582.
 258. Rosenberg, *A. N.*, **175**, 1907, 401.
 259. Evershed, *M. N.*, **68**, 1907, 16.
 260. Campbell, *Aph. J.*, **28**, 1908, 229.
 261. Bélopolsky, *Mitt. Pulk.*, **2**, 1907, 119.
 262. E.-C. Pickering, *Harv. Circ.*, **144**, **2**, 1908, 3.
 263. Slipher, *Low. Bull.*, **2**, 1911, 15.
 264. Baldet, *C. R.*, **181**, 1925, 331.
 265. — *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 16.

1908 c

266. De la Baume Pluvinel et Baldet, *C. R.*,
147, 1908, 666.
267. De la Baume Pluvinel et Baldet, *C. R.*,
148, 1909, 759.
268. De la Baume Pluvinel et Baldet, *Aph. J.*,
34, 1911, 89.
269. Deslandres et Bernard, *C. R.*, **147**, 1908,
774.
270. Deslandres et Bosler, *C. R.*, **147**, 1908,
951.
271. Deslandres, Bernard et Bosler, *C. R.*
148, 1909, 805.
272. E.-C. Pickering, *A. N.*, **179**, 1908, 193.
273. E.-C. Pickering, *A. N.*, **179**, 1909, 383.
274. Hartmann, *A. N.*, **181**, 1909, 21.
275. Frost et Parkhurst, *Aph. J.*, **29**, 1909, 55.
276. Campbell et Albrecht, *Aph. J.*, **29**, 1909,
84.
277. Rosenberg, *Aph. J.*, **30**, 1909, 267.
278. Curtis, *Lick. Bull.*, **5**, 1909, 135.
279. Ricco, *Mem. Sp. It.*, **38**, 1909, 41.
280. Konkoly, *A. N.*, **188**, 1911, 189.
281. Fowler, *Aph. J.*, **35**, 1912, 85.
282. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 24.
379. Orlov, *A. N.*, **225**, 1925, 397.

1909 c

283. Wright, *Lick. Bull.*, **5**, 1909, 146.
284. Deslandres et Bernard, *C. R.*, **149**, 1909,
1103.
285. Bernard et Idrac, *C. R.*, **150**, 1910, 1161.
286. Iñiguez, *C. R.*, **150**, 1910, 1212.
287. Iñiguez, *C. R.*, **151**, 1910, 44.
288. — *Nat.*, **83**, 1910, 384.
289. Frost et Parkhurst, *A. N.*, **183**, 1910,
201.
290. Wright, *A. N.*, **184**, 1910, 317.
291. M. Wolf, *A. N.*, **184**, 1910, 401.
292. Slipher et Lampland, *Low. Bull.*, **1**, 1910,
252.
293. Slipher et Lampland, *Low. Bull.*, **2**, 1911,
3.
294. Evershed, *M. N.*, **70**, 1910, 607.
295. Münch, *A. N.*, **185**, 1910, 137.

296. Pahlen, *A. N.*, **185**, 1910, 138.
297. Fowler, *Sc. (N. S.)*, **32**, 1910, 886.
298. M. Wolf, *Sitz. Heid.*, **7**, 1910.
299. Konkoly, *A. N.*, **188**, 1911, 190.
300. Butler, *P. R. S.*, **84**, 1911, 523.
301. Frost, *Pop. Ast.*, **19**, 1911, 558.
302. Ricco, *Mem. Sp. It.*, (2), **1**, 1912, 97.
303. Crommelin et Smart, *Mem. B. A. A.*,
19, 1912, 20.
304. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 28.

1910 a

305. Deslandres, Bernard, d'Azambuja, *C. R.*
150, 1910, 253.
306. Deslandres, Idrac, *C. R.*, **150**, 1910, 653.
307. De la Baume Pluvinel, *Ast.*, **24**, 1910,
110.
308. Newall, *M. N.*, **70**, 1910, 459.
309. Wright, *Lick. Bull.*, **174**, **5**, 1910, 179.
310. Wright, *A. N.*, **183**, 1910, 279.
311. Albrecht, *Lick. Bull.*, **174**, **5**, 1910, 183.
312. Albrecht, *A. N.*, **183**, 1910, 291.
313. Konkoly, *A. N.*, **183**, 1910, 422.
314. Ricco, *Boll. Cat.*, **11**, 1910.
315. — *At. Ac. Linc.*, (5), **19**, **1**, 1910, 260.
316. Konkoly, *A. N.*, **188**, 1911, 192.
317. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 31.

1911 b

318. Lagrula et Chrétien, *C. R.*, **153**, 1911,
378.
319. De la Baume Pluvinel et Baldet, *C. R.*,
153, 1911, 459.
320. M. Wolf, *A. N.*, **189**, 1911, 45.
321. E.-C. Pickering, *A. N.*, **189**, 1911, 81.
322. Stratton, *A. N.*, **189**, 1911, 86.
323. Konkoly, *A. N.*, **189**, 1911, 237.
324. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 34.

1911 c

325. Bosler, *C. R.*, **153**, 1911, 756.
326. Jimenez et Carrasco, *C. R.*, **153**, 1911,
758.
327. Iñiguez et Carrasco, *Rev. Esp.*, **1**, 1911,
118.

328. Lagrula et Chrétien, *C. R.*, **153**, 1911, 927.

329. W.-J.-S. Lockyer, *Nat.*, **88**, 1911, 81.

330. Stratton, *A. N.*, **189**, 1911, 85.

331. Belopolsky, *A. N.*, **189**, 1911, 439.

332. Iñiguez, *A. N.*, **190**, 1911, 104.

333. Konkoly, *A. N.*, **190**, 1911, 41.

334. M. Wolf, *Sitz. Heid.*, n° 25, 1911.

335. — — n° 29, 1911.

336. Storey, *M. N.*, **72**, 1911, 30.

337. De la Baume Pluvinel et Baldet, *C. R.*, **154**, 1912, 1286.

338. De la Baume Pluvinel et Baldet, *Ast.*, **26**, 1912, 402.

339. Wright, *Lick. Bull.*, **7**, 1912, 8.

340. Voitkevich, *Bull. Ac. Pét.*, **6**, 1914, 51.

341. Vsechsviatky, *A. N.*, **224**, 1925, 77.

342. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 36.

1911 f

343. Quéniisset et Baldet, *C. R.*, **153**, 1911, 589.

344. Konkoly, *A. N.*, **190**, 1911, 41.

345. Zappa, *At. Ac. Linc.* (5), **22**, 1913, 886.

346. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 45.

1911 g

347. Konkoly, *A. N.*, **190**, 1911, 42.

348. Wright, *Publ. Pac.*, **23**, 1911, 269.

1912 a

349. Quéniisset, *Ast.*, **26**, 1912, 502.

350. Idrac, *C. R.*, **155**, 1912, 896.

351. Parkhurst, *Pop. Ast.*, **20**, 1912, 605.

352. — *Harv. Bull.*, n° 502, 1912.

353. Schwassmann, *A. N.*, **192**, 1912, 451.

354. Iñiguez, *Rev. Esp.*, **2**, 1912, 198.

355. Baldet, *Ann. Meudon*, **7**, 1926, 47.

1913 a

356. Bosler, *C. R.*, **156**, 1913, 1653.

1913 b

357. Bosler, *C. R.*, **157**, 1913, 539.

1913 f

358. Belopolsky, *Mitt. Publ.*, n° 68, 1915, 132.

359. Konkoly-Thege, *A. N.*, **202**, 1916, 143.

360. Curtiss et Mc Laughlin, *Pop. Astr.*, **29**, 1921, 561.

1914 b

361. Parkhurst, *Harv. Bull.*, n° 553, 1914.

362. Slipher, *Low. Bull.*, **2**, 1914, 67.

363. — — **2**, 1916, 151.

364. Selga, *Rev. Esp.*, **5**, 1915, 54.

365. Konkoly-Thege, *A. N.*, **202**, 1916, 143.

1914 d

366. Tikhov, *A. N.*, **223**, 1925, 279.

1915 a

367. Lowell, *Pop. Astr.*, **23**, 1915, 309.

368. Slipher, *Low. Bull.*, **2**, 1916, 151.

369. Glancy, *Aph. J.*, **49**, 1919, 196.

1916 b

370. Slipher, *Publ. Pac.*, **29**, 1917, 208.

1917 a

371. Frost, *Harv. Bull.*, n° 629, 1917.

372. — *J. S. Can.*, **11**, 1917, 196.

1919 b

373. Slipher, *Publ. Pac.*, **31**, 1919, 303.

1921 a

374. Hansson, *A. N.*, **214**, 1921, 439.

1924 b

375. Tikhov, *A. N.*, **223**, 1925, 279.

1924 c

376. Parkhurst, *Pop. Astr.*, **32**, 1924, 521.

1925 c

377. Bobrovnikoff, *Pop. Astr.*, **33**, 1925, 417.

378. Rougier, *J. Obs.*, **8**, 1925, 139.

1925 d

380. Bobrovnikoff, *Pop. Astr.*, **33**, 1925, 638.

CHAPITRE IV

RECHERCHES DE LABORATOIRE

I. — LE SPECTRE DES QUEUES

62. *Historique : Fowler, Merton et Johnson.* — Les doublets de la comète Morehouse n'avaient été identifiés avec aucun des spectres connus en laboratoire. Ce fut le Pr. A. Fowler qui, en 1909, en découvrit l'origine ⁽¹⁾. Il fut guidé dans ses recherches par une petite photographie spectrale, montrant accidentellement les doublets en question, obtenue le 12 mars 1902, avec la collaboration de M. Howard Payne, en posant sur un tube à hydrogène. Elle était toujours restée énigmatique.

Une série de recherches lui montra que l'hydrogène n'était pas la cause du nouveau spectre, mais qu'il fallait l'attribuer à un gaz oxycarboné. Il reproduisit les doublets en faisant passer une décharge non condensée dans un tube assez large contenant de l'oxyde de carbone à la pression d'environ 0^{mm},01 ; mais la luminescence du gaz étant alors extrêmement faible, le spectre ne put être étudié qu'avec une très petite dispersion.

Les tentatives pour produire une luminescence à des pressions inférieures à 0^{mm},01, en utilisant une cathode incandescente de Wehnelt, à la chaux, ne donnèrent pas de bien meilleurs résultats. Il fut seulement possible de faire passer la décharge à 0^{mm},005 environ. Mais les bandes d'Ångström, λ 561, 519, etc..., dont le spectre de doublets était toujours accompagné, alors qu'il ne l'est jamais dans les comètes, n'avaient pas tout à fait disparu.

M. Fowler donna les longueurs d'onde de douze doublets, dont deux très faibles. Les recherches sur le spectre ne furent pas poussées plus loin par le physicien anglais, la luminescence du gaz étant beaucoup trop faible.

⁽¹⁾ A. Fowler. Terrestrial Reproduction of the Spectra of the Tails of Recent Comets. *Monthly Notices*, t. 70, 1909, p. 176. — Investigations relating to the Spectra of Comets. *Ibid.*, t. 70, 1910, p. 484.

En 1923, MM. T.-R. Merton et R.-C. Johnson ⁽¹⁾ l'obtinrent avec un peu plus d'intensité en faisant jaillir une décharge entre des électrodes de carbone dans de l'hélium pur. L'éclat intrinsèque du spectre ne fut cependant pas suffisant pour que son étude puisse être entreprise avec une forte dispersion. Mais les auteurs obtinrent un certain nombre de bonnes photographies avec un spectrographe à un prisme. Elles montrent huit doublets dont six sont communs avec le spectre observé par Fowler ; les deux autres, du côté rouge, n'ont pas été observés par celui-ci. Ils dédoublèrent même chacune des composantes des doublets. Cependant les intensités des bandes ainsi obtenues sont tout à fait différentes de celles des comètes, alors que le spectre de Fowler donné simplement par l'oxyde de carbone pur, sans mélange d'hélium, leur ressemble étroitement. En outre, des raies et bandes étrangères sont visibles. L'hélium apporte ainsi une perturbation qui doit le faire rejeter, lorsqu'on veut comparer les bandes du laboratoire à celles des comètes.

63. *La décharge thermionique.* — Les expériences précédentes n'avaient montré que quatorze doublets au total, tandis que nous en avons compté vingt et un dans la comète Morehouse. Je me suis alors proposé de rechercher un mode d'excitation des gaz carbonés permettant de reproduire le spectre de la comète Morehouse, non seulement en entier et avec les mêmes intensités relatives, mais encore avec un éclat suffisant pour que son étude puisse être abordée avec des instruments très dispersifs.

Je me suis adressé pour cela à la décharge thermionique, dont l'importance est si grande en physique. Elle permet d'obtenir la luminescence des gaz les plus raréfiés avec des énergies variables et connues à partir des potentiels d'ionisation, et n'est pas sans présenter une analogie étroite — comme le suppose la théorie du rayonnement corpusculaire du Soleil, émise en 1895 par M. H. Deslandres — avec la cause de la luminescence des atmosphères stellaires et, sans doute, des comètes.

Toutes les recherches qui vont être exposées dans les paragraphes suivants ont été exécutées à l'Observatoire de Meudon.

II. — APPAREILS

64. *Ampoule thermionique.* — Après des essais variés, je me suis arrêté au dispositif suivant :

L'ampoule (fig. 4), en verre Radiox, est constituée par un ballon de 85 milli-

⁽¹⁾ T.-R. Merton et R.-C. Johnson, On Spectra associated with Carbon, *Proceedings of the Royal Society A.*, t. 103, 1923, 386.

mètres de diamètre portant à sa partie inférieure un pied de lampe basse tension pour courants de 10 ampères. Aux extrémités d'un même diamètre se trouvent une prise de courant P en platine soudée dans le verre et prolongée par un fil de molybdène M de 1 millimètre de diamètre servant d'anode, et une fenêtre de 35 millimètres de diamètre intérieur, à bord plan rodé, sur laquelle on colle une lame de quartz Q avec un mastic Régnier spécial posé seulement sur le bord extérieur du rodage.

La cathode est constituée par un fil de tungstène T de 20 millimètres environ posé simplement sur les fils de nickel sortant du pied de la lampe. A cet effet, ils ont été fendus à leur partie supérieure par un trait de scie et légèrement écartés

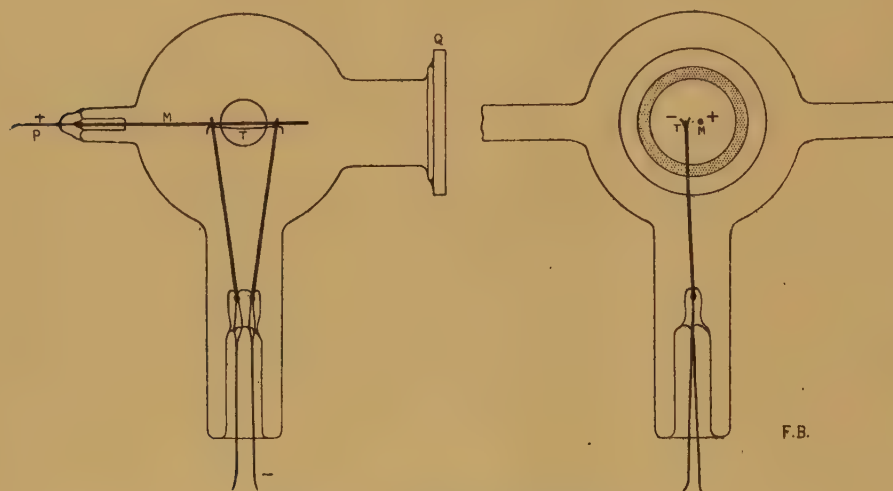


Fig. 4. — Ampoule thermionique.

en forme d'Y, comme l'indique la figure. Le contact s'est toujours montré satisfaisant pour des courants de l'ordre de 4 volts, 7 ampères. Lorsque le filament est brûlé, rien n'est plus simple que de le changer en le saisissant avec des brâcles à mors recourbés introduites par la fenêtre. On y substitue un filament qu'on pose dans les fentes de l'Y grattées, au préalable, avec la lame d'un canif. Il est également utile de gratter le filament de tungstène aux endroits des contacts. Le filament est coudé, au rouge, aux deux extrémités, et légèrement incurvé sur toute sa longueur pour éviter que les légères vibrations de la pompe moléculaire, transmises par l'intermédiaire de la table, ne le chassent des tiges sur lesquelles il est simplement posé.

La distance de l'anode à la cathode est de 3 à 4 millimètres.

Deux tubes en verre soudés aux extrémités d'un même diamètre, perpendiculaire à la direction de la fenêtre, mettent l'ampoule en communication, d'une part avec le vide et de l'autre avec les gaz.

65. *Arrangement des appareils, etc.* — Le vide est obtenu au moyen d'une pompe moléculaire de Holweck M, reliée à une pompe préparatoire à double palette, à huile, de Gaiffe H (fig. 5). Le courant diphasé à 75 périodes, servant à l'entraînement de la pompe Holweck, est obtenu au moyen d'une commutatrice (force 1 CV) de Gaumont, alimentée par du courant continu à 120 volts. Elle sert également à faire tourner la pompe à huile.

Entre l'ampoule thermionique A et la pompe Holweck M, un tube témoin T a été installé pour apprécier le degré de vide d'après l'aspect de la décharge. Il est constitué par une ampoule ovoïde garnie de deux électrodes planes d'aluminium, éloignées de 7 centimètres. Elles sont reliées à une bobine B pouvant

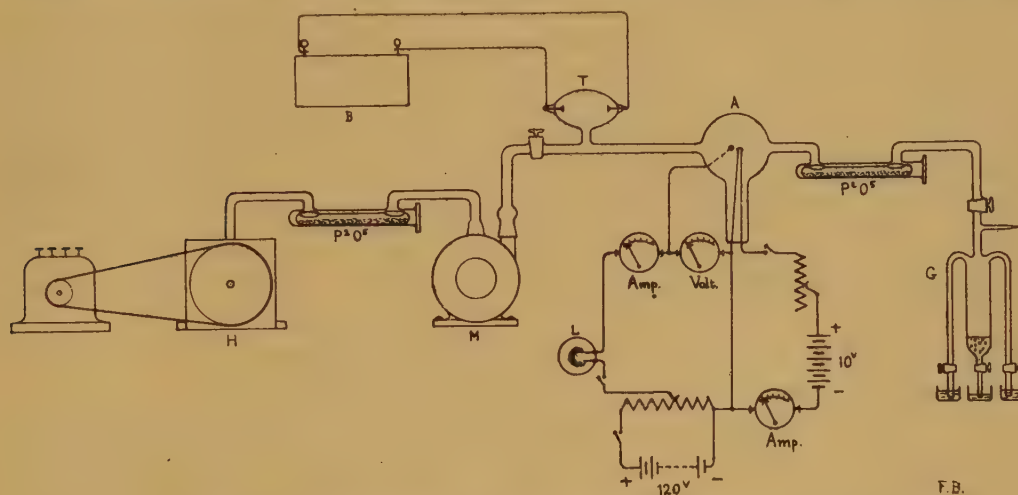


Fig. 5. — Installation pour l'étude de la décharge thermionique dans l'oxyde de carbone.

fournir 10 centimètres d'étincelle. De faibles traces de vapeur de mercure gênant considérablement la production des spectres étudiés, aucun manomètre à mercure pour mesurer la pression n'a été installé.

Le générateur à oxyde de carbone G comprend un tube large, garni de deux tubes latéraux, fermés tous trois à leur partie inférieure par des robinets. En mettant sous chaque tube latéral un récipient contenant d'un côté de l'acide sulfurique et de l'autre de l'acide formique chimiquement purs, et ouvrant les robinets après avoir fait le vide, les acides montent et se mélangent dans le tube central. Le robinet central sert pour la vidange.

Par la suite, j'ai simplifié la manœuvre en utilisant exclusivement le tube central. L'acide sulfurique est d'abord admis par le tube du milieu et purgé de ses gaz dans le vide. Ensuite, l'acide formique est admis par le même tube par petites quantités à la fois.

Le gaz est simplement desséché sur de l'anhydride phosphorique fréquemment renouvelé, contenu dans la nacelle d'un tube type locomotive.

L'oxyde de carbone a été également produit par la réaction à chaud de l'acide sulfurique sur l'acide oxalique. Le gaz produit passait sur de la potasse fraîche et sur de l'anhydride phosphorique.

Des robinets à voie oblique ont complété l'installation définitive. Mais, dans les premières expériences, l'installation était sans robinets pour éviter les vapeurs de graisse. Ce n'est que plus tard, lorsque j'ai reconnu que les traces de ces vapeurs donnaient sensiblement le même spectre que l'oxyde de carbone, que j'ai introduit des robinets pour la rapidité des expériences ⁽¹⁾.

Les connexions électriques ont été indiquées schématiquement sur la figure. En L se trouve une lampe 1/2 watt de 400 bougies (1,7 ampère) servant de résistance stabilisatrice. Un arc métallique entre la cathode en tungstène et l'anode en molybdène a, en effet, tendance à s'amorcer, et le courant thermionique dépasse alors facilement 3 ampères, entraînant la destruction très rapide du filament. La lampe, dont la résistance à chaud est plus élevée qu'à froid, coupe l'arc au moment de son amorçage. Le dispositif ne s'est jamais montré en défaut.

La chute de tension de la cathode à l'anode est réglée par un potentiomètre débitant 2 ampères sous 120 volts. Le courant continu est fourni par une forte batterie d'accumulateurs.

66. *Spectrographes.* — Trois spectrographes ont été employés :

1° Un spectrographe à un prisme de spath de 60°. La lentille du collimateur

⁽¹⁾ A ce propos, il n'est peut-être pas inutile de donner ici, à titre de renseignement pratique, la formule d'une graisse que j'ai établie, sur la suggestion de M. A. Perot, et qui s'est montrée d'un bon emploi entre + 3° et + 23°, servant ainsi de graisse d'hiver et de graisse d'été.

Elle consiste dans le mélange suivant :

Suif purifié	100 grammes.
Vaseline blanche	115 —

On prépare le suif en faisant fondre la graisse de mouton, la plus blanche et la plus ferme, soigneusement débarrassée de tous les tissus étrangers, dans un nouet de fine toile plongé dans l'eau bouillante (j'ai employé de l'eau distillée). Après refroidissement, on recueille le suif qui flotte sur l'eau, et on le fait bouillir de nouveau dans une eau propre. L'opération est reprise après un nouveau refroidissement jusqu'à ce que l'eau résiduelle reste très propre.

D'autre part, la vaseline a été chauffée longuement, un peu au-dessus de 100°, pour que les hydrocarbures volatils s'évaporent ; puis les deux constituants, après mélange, sont de nouveau chauffés longuement, au bain-marie dans un flacon, jusqu'à ce que toutes les bulles aient disparu. La graisse ainsi préparée se conserve plus de six mois, en pots bouchés, sans altération.

Les robinets enduits de cette graisse dégagent la plus grande partie de leurs vapeurs pendant la première journée de vide. Mais le phénomène décroît rapidement, et, après quarante-huit heures de vide entretenu périodiquement à la pompe, le dégagement devient très faible. Sans être nul, il n'est pas suffisant pour qu'une décharge puisse se produire au tube témoin qui reste complètement obscur même deux jours après qu'on a cessé de faire le vide. Après vidage à la pompe moléculaire, aucune décharge n'est visible dans l'ampoule thermionique pendant une douzaine d'heures.

est en quartz-spath et celle de la chambre en quartz. Ouverture utile $2^{\text{cm}},5$, distance focale de la chambre 65 : centimètres pour le jaune. Dispersion : 1 millimètre = $115 \text{ \AA}$ à λ 6000, $65 \text{ \AA}$ à λ 5000, $32 \text{ \AA}$ à λ 4000, $11 \text{ \AA}$ à λ 3000, $3 \text{ \AA}$ à λ 2000.

2° Un spectrographe à deux prismes de spath de 60° . La lentille du collimateur est en quartz-fluorine, et celle de la chambre est en quartz. Ouverture utile elliptique de $2^{\text{cm}},5$ sur 4 centimètres en hauteur ; distance focale de la chambre : 130 centimètres pour le jaune. Dispersion : 1 millimètre = $31 \text{ \AA}$ à λ 6000, $17 \text{ \AA}$ à λ 5000, $8 \text{ \AA}$ à λ 4000, $3 \text{ \AA}$ à λ 3000.

3° Le spectrohéliographe utilisé comme spectrographe de laboratoire. Trois gros prismes de flint, très homogènes, de 60° , base de 15 centimètres. Ouverture utile 7 centimètres, distance focale de la chambre 3 mètres.

Cet instrument, dont toutes les parties sont fixées sur des piliers de maçonnerie, est installé dans un bâtiment dont le toit, recouvert de terre gazonnée, a un mètre d'épaisseur et forme volant de température. La variation diurne de celle-ci se trouve pratiquement annulée à l'intérieur du bâtiment. Elle est de l'ordre de $0^\circ,1$ dans la boîte des prismes.

Dispersion : 1 millimètre = $11,3 \text{ \AA}$ à λ 7000, $7,4 \text{ \AA}$ à λ 6000, $4,2 \text{ \AA}$ à λ 5000, $1,8 \text{ \AA}$ à λ 4000, $1,2 \text{ \AA}$ à λ 3600.

III. — SPECTRES THERMIONIQUES DE L'OXYDE DE CARBONE

67. *Spectres aux différentes pressions.* — Lorsqu'on admet de l'oxyde de carbone pur, bien desséché, dans l'ampoule thermionique, on obtient différents spectres suivant la pression du gaz.

Sous quelques dixièmes de millimètre de mercure et une chute de potentiel d'une centaine de volts, il apparaît un spectre complexe dans lequel on trouve des bandes connues, telles que celles dites de l'oxyde de carbone ou deuxième groupe positif, ou encore bandes d'Ångström, le troisième groupe positif du carbone formé de bandes à six têtes dégradées vers le violet, situées entre λ 3825 et 2295 et le premier groupe négatif ultra-violet du carbone, de λ 2897 à 2190 accompagné de deux bandes intenses à λ 2897 et 2883.

Mais les faits essentiels à noter sont : 1° la présence des doublets de la comète Morehouse qui sont d'une intensité remarquable, et 2° l'apparition d'un spectre nouveau.

Malgré l'intensité de l'émission, on ne trouve pas trace du spectre de Swan, ou premier groupe positif, alors qu'il est brillant dans le tube témoin excité avec la bobine d'induction.

A la pression de $0^{\text{mm}},7$ environ, le nouveau spectre est très développé. La lueur ne remplit pas entièrement l'ampoule, elle reste localisée autour des élec-

trodes et son éclat est très vif. Le courant thermionique dépasse facilement un ampère, le filament étant parcouru par un courant de 7 ampères.

A mesure que la pression diminue et arrive entre 10^{-2} et 10^{-3} millimètre, la lueur s'étend et finit par remplir l'ampoule, et même par gagner les tubes adjacents. En même temps le spectre change. Les bandes d'Ångström faiblissent, ainsi que le troisième groupe positif, tandis que les doublets des queues de comète gagnent en éclat.

A des pressions plus basses, alors que la décharge de la bobine ne provoque plus aucune tache de fluorescence dans le tube témoin, la luminescence dans l'oxyde de carbone est toujours brillante. Elle est d'un beau bleu qui devient de plus en plus sombre à mesure qu'on raréfie le gaz avec la pompe moléculaire. L'anode est portée au rouge vif. Il arrive un moment où la lueur s'éteint brusquement, le nombre des ions restant étant trop faible pour vaincre la charge spatiale créée par le filament. De là, comme on le sait, l'intérêt de rapprocher autant que possible l'anode de la cathode. Si l'on diminue la température du filament, la charge spatiale s'affaiblit et la lueur se rallume.

Lorsqu'on arrive ainsi aux limites de stabilité de la lueur, dans de l'oxyde de carbone dont la pression, appréciée par des procédés indirects, ne paraît pas atteindre 10^{-4} millimètre, on ne retrouve plus de traces des bandes d'Ångström. Il ne reste que les doublets des comètes, le groupe négatif dans l'ultra-violet et des traces à peine perceptibles des bandes du troisième groupe négatif et du nouveau spectre.

68. *Remarques diverses sur les expériences.* — Pour que le spectre des queues de comètes se montre dans tout son éclat, sans radiations étrangères, il faut que la lampe marche depuis au moins trois heures, le filament étant chauffé au maximum afin qu'il dégage tous les gaz occlus et que, par bombardement électronique, les parois de verre de l'ampoule perdent les leurs. Pendant tout ce temps, la pompe moléculaire doit rester en marche.

Lorsque le filament est neuf on voit, en effet, une faible lueur bleu-mauve remplir l'ampoule contenant un peu de CO. Analysée au spectroscopie, elle donne presque exclusivement les raies de l'hydrogène et son spectre secondaire.

Mais peu à peu l'éclat de la lueur augmente en même temps que sa couleur tend vers le bleu-vert et le spectre montre les doublets caractéristiques.

Comme l'oxyde de carbone se dissocie au contact du filament incandescent pour donner principalement de l'acide carbonique, on ne peut rien affirmer quant à la nature de la molécule qui donne naissance aux doublets. Avec de l'acide carbonique les doublets sont également visibles, mais il apparaît alors un fond formé d'une multitude de raies faibles et très serrées qu'on ne retrouve pas avec l'oxyde

de carbone. Le filament est rapidement attaqué par l'oxygène libre provenant du CO^2 .

Dans l'oxyde de carbone pur, le filament de tungstène dure six heures avant de se couper. Il y a intérêt à le prendre aussi gros que possible.

L'éclat du spectre des queues de comètes obtenu par cette méthode, à la pression de 10^{-4} millimètre, est tel qu'il suffit d'une pose de cinq minutes avec le spectrographe ouvert à $f/22$ et à fente fine et des plaques de rapidité moyenne pour en obtenir une image intense et complète, tandis qu'il faut poser des heures dans le tube à décharge ordinaire à la pression de 10^{-2} millimètres, et encore, dans ce dernier cas, le spectre obtenu est souillé par des bandes étrangères, en particulier par les bandes d'Ångström.

Lorsqu'on laisse pénétrer des traces d'air dans l'oxyde de carbone le spectre du mélange gazeux à très basse pression montre, en plus des doublets, les groupes de bandes caractéristiques λ 3883 du cyanogène et la bande λ 3914 du groupe négatif de l'azote : le spectre ressemble alors étroitement à celui de la comète Morehouse. Fowler avait déjà constaté un phénomène analogue dans le tube à décharge ⁽¹⁾.

A la pression d'environ 1 millimètre le spectre montre, en plus des bandes, quelques lignes facilement identifiables avec les raies caractéristiques de quelques corps simples. A titre de simple indication, je citerai les raies suivantes dans l'ultra-violet : Hg 2536,5, C 2512,0, 2509,1, 2478,6 ; Al 2575,1 ; Si 2413,8.

Lorsqu'un arc s'allume entre l'anode et la cathode pendant un temps très court, on voit apparaître sur la plaque les raies « enhanced » du tungstène provenant du filament et du nickel des supports.

Au bout de plusieurs heures de fonctionnement il se dépose sur les parois de l'ampoule un voile noirâtre, à reflets métalliques, se dissolvant lentement dans l'eau régale ; il paraît dû, en partie, à l'évaporation du tungstène.

Dans un essai d'ampoule avec une anode en nickel ce voile est devenu très intense dès les premiers instants, et l'oxyde de carbone a été entièrement détruit quelques secondes après son introduction. L'action du nickel au rouge sur l'oxyde de carbone est du reste bien connue. Il y a donc intérêt à supprimer dans la lampe toute pièce en nickel, susceptible d'être chauffée, et à la remplacer par du molybdène, par exemple.

69. *Les jets lumineux autour du filament.* — Lorsque le filament de tungstène s'use après un usage suffisamment prolongé, l'usure se produit en un seul point qui s'amincit de plus en plus jusqu'à la rupture. La température de ce point s'accroît, par rapport au reste du filament, et l'émission d'électrons devenant plus

⁽¹⁾ *Monthly Notices*, t. 70, 1909, p. 176.

abondante, suivant la loi de Richardson, on voit apparaître dans l'ampoule une nappe plus lumineuse partant de ce point. Son plan est sensiblement perpendiculaire au filament, c'est-à-dire suivant les lignes de force du champ électrique.

L'analogie avec les jets coronaux du Soleil est remarquable. Cette expérience illustre la théorie, depuis longtemps émise, de l'origine de ces jets au-dessus des régions de la photosphère où la température est plus élevée et qui produisent, par conséquent, un courant électronique plus intense.

IV. — LE TROISIÈME GROUPE NÉGATIF DU CARBONE

70. *Nouvelle terminologie.* — Le spectre dit : *des queues de comètes* (*tail-spectrum*, en anglais) offrant d'importantes variations lorsqu'on le reproduit en laboratoire dans diverses conditions, il convient de lui attribuer une désignation plus générale pour éviter toute confusion avec l'aspect particulier qu'il possède dans les comètes. J'ai proposé le nom de troisième groupe négatif du carbone ⁽¹⁾.

Le premier groupe négatif a été reconnu par M. Deslandres en 1903, et le deuxième par MM. Deslandres et d'Azambuja en 1905 ⁽²⁾ ; mais il y a des différences entre les trois groupes. Le deuxième a été obtenu au pôle négatif dans l'acide carbonique aux pressions supérieures à 5 millimètres, et les deux autres sont bien développés, surtout aux pressions plus basses.

Obtenu avec la lampe thermionique, le troisième groupe négatif peut être rangé à côté des groupes de bandes les plus remarquables du carbone.

71. *Photographies.* — J'en ai obtenu de nombreux clichés avec les trois spectrographes décrits ci-dessus. Des observations visuelles d'intensité faites avec un spectroscopie à vision directe sont venues compléter ma documentation.

Les plaques employées après des essais préliminaires comparatifs, ont été : 1^o pour l'ultra-violet, les Guillemot Studio-Guil ; 2^o pour le violet et le bleu, les Lumière Σ ; 3^o pour le vert, les As de Trèfle W et les Lumière Chroma V, et 4^o pour le jaune, l'orangé et le rouge, les Ilford Rapid Process Panchromatic. Il est intéressant de signaler que, pour cette dernière marque de plaques seulement, l'action d'un léger voile préalable permet de diminuer la durée d'exposition. Elles ont toutes été développées avec le révélateur au génol-hydroquinone, pour contrastes, dont j'ai donné la formule ⁽³⁾.

Avec le spectrohéliographe, les bandes les plus intenses dans le bleu et le violet

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 180, 1925, p. 273.

⁽²⁾ C'est Kayser qui a appelé deuxième groupe négatif le spectre de bandes signalé par Deslandres et d'Azambuja. Voir *Handbuch der Spectroscopie*, t. 5, p. 234 et *Comptes rendus*, t. 137, 1903, p. 457 ; t. 140, 1905, p. 917.

⁽³⁾ *L'Astronomie*, t. 38, 1924, p. 383.

viennent complètement en posant vingt minutes, l'oxyde de carbone étant à la pression d'environ 10^{-4} millimètre, et en une minute à la pression d'environ 10^{-1} millimètre.

Le spectre comprend en tout trente-sept bandes situées entre λ 6412 et λ 3081. Chacune offre deux têtes qui sont elles-mêmes doubles : il y a donc quatre arêtes. Elles sont dégradées vers le rouge.

72. *Longueurs d'onde des arêtes.* — On trouvera dans le Tableau XXIV les positions des arêtes obtenues avec la dispersion modérée du deux spaths, excepté pour les bandes rouges et jaunes qui ont été mesurées sur les clichés obtenus au spectrohéliographe. Les longueurs d'onde des cinq bande très faibles, données

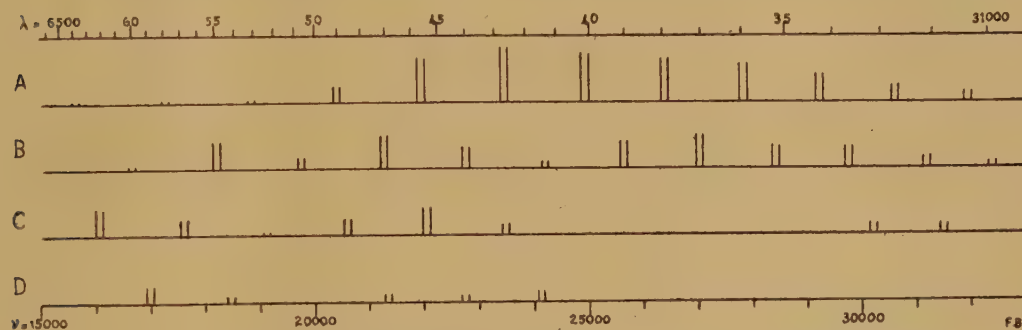


Fig. 6. — Intensités photographiques des bandes du 3^e groupe négatif du carbone (spectre des queues).

avec quatre chiffres, ont été déterminées visuellement avec un spectroscopie à vision directe.

Le Tableau XXV donne les nombres d'ondes ν par centimètre (dans le vide), des arêtes.

Les intensités photographiques, appréciées sur les plaques Ilford pour le rouge



Fig. 7. — Intensités visuelles des bandes du 3^e groupe négatif du carbone (spectre des queues). Dispersion prismatique.

et le vert et les plaques Σ pour le reste du spectre, se rapportent à l'ensemble de la bande. La première arête est plus faible que les trois autres.

Le dessin schématique (fig. 6) montre la répartition des intensités photographiques pour chaque famille. On remarquera les maxima d'intensité des familles B, C et D.

Le deuxième dessin (fig. 7) donne les intensités visuelles des bandes observées au spectroscopie à vision directe. Dans ces deux figures les hauteurs des lignes sont proportionnelles aux intensités des bandes.

TABLEAU XXIV

Longueurs d'onde en Å (air) des bandes du 3^e groupe négatif du carbone.

		Arêtes				Intensités		
n	p	1 ^{re}	2 ^e	3 ^e	4 ^e	Phot.	Vis.	
A	0	5	6354	6361	6405	6412	1/2	1/2
C	— 2	2	6189,35	6196,43	6238,72	6244,95	5	7
B	— 1	3	5970	5976	6015	6021	1/2	1/2
D	— 3	0	5856,51	5862,31	5900,40	5905,66	3	4
A	0	4	5764	5769	5806	5812	1/2	1/2
C	— 2	1	5652,60	5658,09	5693,59	5698,59	3	4
B	— 1	2	5461,42	5466,74	5499,86	5504,46	5	6
D	— 3	— 1	5389,25	5393,92	5426,44	5430,51	1	3
A	0	3	5281	5286	5317	5321	1/2	2
C	— 2	0	5209	5214	5244	5248	1/2	1/2
B	— 1	1	5039,77	5043,70	5072,06	5075,88	2	10
A	0	2	4879,51	4883,86	4910,96	4914,54	3	2
C	— 2	— 1	4836,58	4839,55	4865,83	4868,98	3	1
B	— 1	0	4683,37	4686,80	4711,25	4714,48	6	6
D	— 3	— 3	4664,54	4667,58	masquées par les précédentes		1	1
A	0	1	4539,38	4542,63	4565,83	4568,71	8	7
C	— 2	— 2	4517,99	4521,00	masquées par les précédentes		5	
B	— 1	— 1	4378,93	4381,38	4403,26	4406,24	4	
D	— 3	— 4	4378,9	4381,4	masquées par les précédentes		1	
A	— 0	0	4248,55	4251,27	4271,31	4273,87	10	
C	— 2	— 3	4244,10	4246,16	masquées par les précédentes		2	
D	— 3	— 5	4130,59	4132,53	4151,92	4153,82	2	
B	— 1	— 2	4117,28	4119,38	4138,92	4140,42	1	
A	0	— 1	3997,21	3999,50	4017,60	4019,76	9	
B	— 1	— 3	3888,55	3890,53	3908,00	3909,90	5	
A	0	— 2	3777,61	3779,49	3795,65	3797,37	8	
B	— 1	— 4	3688,09	3689,84	3705,31	3707,10	6	
A	0	— 3	3584,11	3585,74	3600,74	3602,26	7	
B	— 1	— 5	3510,27	3511,72	3525,64	3526,95	4	
A	0	— 4	3413,29	3414,58	3427,85	3429,20	5	
B	— 1	— 6	3351,71	3352,94	3366,02	3366,98	4	
C	— 2	— 8	3300,66	3302,06	3314,18	3315,50	2	
A	0	— 5	3260,35	3261,58	3273,91	3275,24	3	
B	— 1	— 7	3209,64	3210,67	3222,42	3223,47	2	
C	— 2	— 9	3168,03	3169,07	3180,26	3181,34	2	
A	0	— 6	3123,18	3124,47	3135,51	3136,77	2	
B	— 1	— 8	3081,46	3082,71	3093,30	3094,57	1	

TABLEAU XXV

Nombres d'ondes par centimètre (vide) des bandes du 3^e groupe négatif du carbone.

n	p	Arêtes			
		1 ^e	2 ^e	3 ^e	4 ^e
A 0	5	15734	15717	15608	15591
C — 2	2	16152, 31	16133, 88	16024, 51	16008, 52
B — 1	3	16747	16730	16621	16604
D — 3	0	17070, 29	17053, 41	16943, 32	16928, 25
A 0	4	17345	17328	17219	17202
C — 2	1	17686, 09	17668, 92	17558, 74	17543, 34
B — 1	2	18305, 20	18287, 36	18177, 25	18162, 05
D — 3	— 1	18550, 32	18534, 25	18423, 19	18409, 36
A 0	3	18930	18913	18804	18788
C — 2	0	19191	19174	19065	19049
B — 1	1	19836, 7	19821, 2	19710, 4	19695, 6
A 0	2	20488, 2	20469, 9	20357, 0	20342, 1
C — 2	— 1	20670, 0	20657, 3	20545, 7	20532, 4
B — 1	0	21346, 2	21330, 6	21219, 9	21205, 4
D — 3	— 3	21432, 38	21418, 42	masquées par les précédentes.	
A 0	1	22023, 3	22007, 6	21895, 7	21881, 9
C — 2	— 2	22127, 6	22112, 9	masquées par les précédentes.	
B — 1	— 1	22830, 20	22817, 4	22704, 1	22688, 8
D — 3	— 4	22830	22817	masquées par les précédentes.	
A 0	0	23530, 9	23515, 8	23405, 5	23391, 4
C — 2	— 3	23555, 5	23544, 1	masquées par les précédentes.	
D — 3	— 5	24204, 1	24191, 5	24078, 5	24067, 5
B — 1	— 2	24281, 1	24268, 7	24154, 1	24145, 4
A 0	— 1	25010, 4	24996, 1	24883, 5	24870, 1
B — 1	— 3	25709, 2	25696, 2	25581, 3	25568, 9
A 0	— 2	26464, 3	26451, 1	26338, 5	26326, 6
B — 1	— 4	27106, 6	27093, 8	26980, 7	26967, 7
A 0	— 3	27893, 0	27880, 3	27764, 2	27752, 5
B — 1	— 5	28479, 7	28468, 0	28355, 6	28345, 1
A 0	— 4	29288, 8	29277, 8	29164, 4	29153, 0
B — 1	— 6	29827, 0	29816, 1	29700, 2	29691, 8
C — 2	— 8	30288, 2	30275, 4	30164, 8	30152, 7
A 0	— 5	30662, 7	30651, 2	30535, 8	30523, 4
B — 1	— 7	31147, 3	31137, 3	31023, 6	31013, 5
C — 2	— 9	31556, 3	31546, 0	31434, 9	31424, 2
A 0	— 6	32009, 4	31996, 2	31883, 5	31870, 6
B — 1	— 8	32442, 8	32429, 6	32318, 6	32305, 4

73. *Représentation par la deuxième loi de Deslandres.* — Conformément à la deuxième loi de Deslandres, les bandes ont été réparties en familles. On en trouve quatre désignées par $n = 0, -1, -2$ et -3 . Pour la comète Morehouse nous n'en avons indiqué que deux ; elles étaient désignées par les lettres A et B, correspondant respectivement à $n = 0$, et -1 . Pour suivre cette terminologie, commode dans certains cas, j'ai désigné les deux autres familles par C et D.

La numération a pour origine la bande la plus intense, les notations employées sont, du reste, conformes à celles recommandées par M. Deslandres en 1919 ⁽¹⁾.

En étudiant, plus loin, la structure des bandes nous verrons qu'il n'y a que deux bandes et non quatre, que les première et troisième arêtes ne sont que des points de rebroussement des branches R et que les origines sont à la deuxième et à la quatrième arêtes.

Nous pouvons dès maintenant remarquer que les différences en nombres d'ondes, entre les deuxième et quatrième arêtes, sont sensiblement constantes et égales à $\Delta\nu = -125$ comme le montre le Tableau XXVI. Les pointés sur la quatrième bande, dont la tête est noyée dans les raies de la troisième, sont un peu incertains avec une dispersion moyenne. En fait c'est la deuxième arête qui est la mieux déterminée.

En prenant donc la deuxième arête comme représentant l'origine des bandes, nous pouvons dresser le Tableau XXVII qui donne la répartition des bandes en familles ⁽²⁾. Les différences premières ont été inscrites.

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 168, 1919, p. 1179 ; t. 169, 1919, p. 745.

⁽²⁾ Le tableau analogue, que j'ai publié aux *Comptes rendus*, t. 180, 1925, p. 271, se rapporte à la première arête, et est moins complet.

TABLEAU XXVI

Différences en nombres d'ondes entre les 2^e et 4^e arêtes.

<i>p</i>	A	B	C	D	
5	126	»	»	»	
4	126	»	»	»	
3	125	126	»	»	
2	127,8	125,31	125,36	»	
1	125,7	125,6	125,58	»	
0	124,4	125,2	125	125,16	
— 1	126,0	128,6	124,9	124,89	
— 2	124,5	123,3	»	»	
— 3	127,8	127,3	»	»	
— 4	124,8	126,1	»	»	
— 5	127,8	122,9	»	124,0	
— 6	125,6	124,3	»	»	
— 7	»	123,8	»	»	
— 8	»	124,2	122,7	»	
— 9	»	»	121,8	»	
Moyennes	125,9	125,2	124,2	124,7	125,3

M. Deslandres a donné la formule suivante ⁽¹⁾ pour représenter les positions de toutes les têtes de bandes d'un même groupe :

$$\nu = \left(\frac{B}{2} n^2 + b_1 n \right) - \left(\frac{C}{2} p^2 + c_1 p \right) + K.$$

Avec les valeurs moyennes tirées du Tableau XXVII on obtient :

$$\nu = \left(\frac{29,63}{2} n^2 + 2197,77 n \right) - \left(\frac{25,42}{2} p^2 + 1491,22 p \right) + 23510,2,$$

où *n* varie de 0 à — 3 et *p* de + 5 à — 9.

J'ai réuni dans le Tableau XXVIII les écarts $\Delta = \nu_{\text{obs}} - \nu_{\text{calc}}$. On voit qu'ils sont fonction de *p*.

(1) Comptes rendus, t. 168, 1919, p. 1184.

TABEAU XXVII

Nombres d'ordes par centimètre (vide) de l'origine de la première bande de chaque doublet.

$\frac{p}{n}$	5	4	3	2	1	0	- 1	- 2
D								
C								
B								
A	15711	1611	17328	1585	18913	1556,9	20469,9	1537,7
D								
C								
B								
A	26451,1	1429,2	27880,3	1397,5	29277,8	1373,4	30651,2	1345,0
$\frac{p}{n}$	- 2	- 3	- 4	- 5	- 6	- 7	- 8	- 9

La bande d'intensité maxima a été soulignée.

TABLEAU XXVIII

Ecart $\Delta = v_{\text{obs}} - v_{\text{cal.}}$

<i>p</i>	A		B		C		D		Δ moy.
	<i>v</i> obs.	Δ	<i>v</i> obs.	Δ	<i>v</i> obs.	Δ	<i>v</i> obs.	Δ	
5	15717	— 19	»	»	»	»	»	»	— 19
4	17328	— 14	»	»	»	»	»	»	— 14
3	18913	— 9	16730	— 9	»	»	»	»	— 9,0
2	20469,9	— 7,0	18287,4	— 6,6	16133,9	— 6,8	»	»	— 6,8
1	22007,6	+ 1,3	19821,2	— 2,1	17668,9	— 1,1	»	»	— 0,6
0	23515,8	+ 5,6	21330,6	+ 3,4	19174	0	17053,4	+ 3,1	+ 3,0
— 1	24996,1	+ 7,4	22817,4	+ 11,6	20657,3	+ 4,9	18534,3	+ 5,5	+ 7,4
— 2	26451,1	+ 9,3	24268,7	+ 9,8	22112,9	+ 7,4	»	»	+ 8,8
— 3	27880,3	+ 10,8	25696,2	+ 9,7	23544,1	+ 10,9	21418,4	+ 8,9	+ 10,1
— 4	29277,8	+ 6,1	27093,8	+ 5,0	»	»	22817	+ 5,2	+ 5,4
— 5	30651,2	+ 2,6	28468,0	+ 2,4	»	»	24191,5	+ 2,9	+ 2,6
— 6	31996,2	— 3,8	29816,1	— 0,9	»	»	»	»	— 2,3
— 7	»	»	31137,3	— 5,7	»	»	»	»	— 5,7
— 8	»	»	32429,6	— 14,0	30275,4	— 14,9	»	»	— 14,4
— 9	»	»	»	»	31546,0	— 19,4	»	»	— 19,4

V. — STRUCTURE DES BANDES

74. *La bande λ 3999.* — L'étude complète de la structure des bandes, par son étendue et son caractère spécial, sortirait du cadre de ce travail consacré à l'astrophysique. J'espère toutefois pouvoir la donner ultérieurement.

Mais il est néanmoins intéressant de fixer, dès maintenant, par un exemple, la constitution d'une des bandes principales. Cela me permettra, en outre, de mieux préciser ses variations avec la pression du gaz, et d'en tirer des conclusions relatives à l'origine de la luminescence des comètes. J'ai choisi, à cet effet, la belle bande λ 3999 (A, — 1).

Les mesures ont été rapportées à l'arc au fer juxtaposé de part et d'autre, avant et après la pose. Les longueurs d'onde ont été calculées par la formule déjà utilisée pour les spectres des comètes :

$$\frac{1}{\lambda} = N_0 + a\delta + b\delta^2,$$

dans laquelle δ représente la mesure sur le cliché, N_0 , a et b des constantes. La bande a été réduite avec des constantes calculées pour les intervalles λ 3997-4040, et λ 4040-4089. Les longueurs d'onde des raies du fer sont tirées des tables de

Keivin Burns ⁽¹⁾. L'erreur moyenne, déduite des mesures effectuées sur les raies du fer comprises entre celles qui ont été utilisées pour déterminer les constantes, est de $\pm 0\text{Å},001$.

Le débrouillement du doublet met en évidence l'existence de deux bandes presque identiques composées chacune de quatre suites (Pl. II) :

Une tête P, deux noyaux intenses Q et Q' et une queue R.

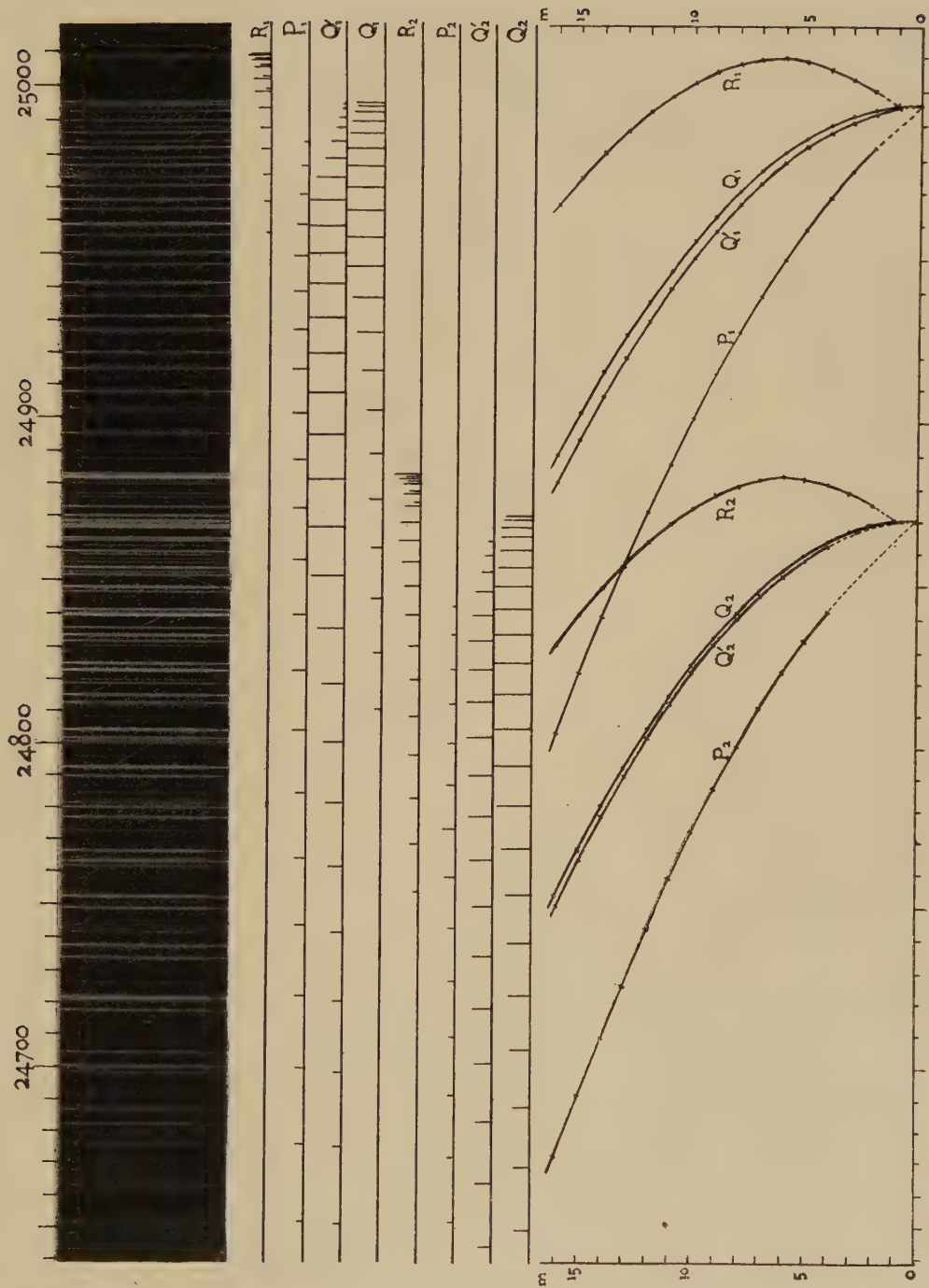
Les indices 1 et 2 distinguent les deux bandes ⁽²⁾.

Les Tableaux XXIX et XXX résument les résultats des mesures, m est le nombre quantique rotationnel, avec la notation de Heurlinger.

(1) *Tables annuelles de Constantes* du Dr Ch. Marie, t. IV (1), 1921, p. 394.

(2) Cette interprétation de la structure des bandes, que j'ai publiée dans une note aux *Comptes rendus* (t. 180, 1925, p. 820), a été confirmée par Raymond T. Birge (*Nature*, t. 116, 1925, p. 207) dans les termes suivants : « Chacune de ces bandes a une double « origine » donnée par les têtes des deux branches Q, d'après l'analyse de Baldet, confirmant ainsi cette analyse, en contradiction avec l'interprétation tout à fait différente de Blackburn (*Physical Review*), t. 25, 1925, p. 288). » Le Dr Robert S. Mulliken l'a adoptée également (*Physical Review*, t. 26, 1925, p. 561).

PLANCHE II.



Structure de la bande λ 3999 du 3^e groupe négatif du carbone.

TABLEAU XXIX

Structure du doublet λ 3999. Première bande.

m	Suite P ₁			Suite Q ₁			Suite Q ₂			Suite R ₁		
	Int.	λ (air) Å, I	ν (vide)	Int.	λ (air) Å, I	ν (vide)	Int.	λ (air) Å, I	ν (vide)	Int.	λ (air) Å, I	ν (vide)
1	»	»	»	8	3999,692	24994,88	1/2	3999,790	24994,27	»	»	»
2	1	4001,657	24982,61	7	3999,884	993,81	1*	99,980*	3993,08*	1	3999,049	24998,90
3	1	02,815	975,38	8	4003,165	991,93	2	4000,410	990,40	2	98,447	25002,66
4	2	04,111	967,30	9	00,600	989,21	3*	00,930*	987,15*	3	97,982	005,57
5	3	05,538	958,40	9	01,174	985,63	4	01,598	982,98	4	97,656	007,61
6	4	07,094	948,71	10	01,885	981,18	6	02,389	978,04	5	97,414	009,12
7	4	08,801	938,09	10	02,738	975,86	8	03,315	972,26	6	97,483	008,69
8	4	10,641	926,65	10	03,726	969,70	10	04,387	965,58	5	97,717	007,23
9	4*	12,593*	914,49*	10	04,857	962,65	10	05,599	958,02	4	98,083	004,94
10	4	14,736	901,22	10	06,124	954,75	10	06,942	949,66	4	98,574	25001,87
11	4	17,007	887,14	10	07,530	946,00	10	08,431	940,39	4	99,215	24997,86
12	4	19,397	872,35	9	09,071	936,41	10	10,053	930,30	3*	3999,980*	93,08*
13	4	21,947	856,58	8	10,750	925,97	10	11,817	919,34	2*	4000,930*	87,15*
14	4	24,637	839,96	6*	12,599*	914,49*	10	13,722	907,51	2	01,948	80,79
15	4*	27,459*	822,56*	4	14,541	902,43	10	15,761	894,87	1	03,147	73,31
16	4*	30,414*	804,36*	3	16,574	889,33	10*	17,943*	881,35*	1	04,463	65,10
17	3	33,549	785,08	3	18,992	875,41	10	20,270	866,95	1	05,952	55,82
18	3	36,645	765,07	2	21,296	860,60	9	22,736	851,70			
19	3	40,223	744,14	2	23,835	844,92	7	25,352	835,55			
20	3	43,776	722,40	1	26,512	828,40	6	28,112	818,54			
21	3	47,481	699,77	1	29,343	810,95	5	31,001	800,75			
22	2	51,327	676,32				4	34,049	782,01			
23	2	55,344	651,88				3	37,224	762,52			
24	2*	59,492*	626,69*				2	40,571	742,01			
25	1*	»	» (1)				2	44,054	720,70			
26	1	68,238	573,75				2	47,686	698,52			
27	1	72,852	545,91				2	51,467	675,47			
28	1	77,614	517,25				2*	55,403*	651,52*			
29							1*	59,492*	626,69*			
30							1	63,743	600,93			
31							1	68,114	574,50			
32							1	72,656	547,09			
33							1/2	77,366	518,74			

(1) Masquée par la raie Q₂24 = 24600,36.

TABLEAU XXX

Structure du doublet λ 3999. Deuxième bande.

<i>m</i>	Suite P ₂			Suite Q ₂			Suite Q ₁			Suite R ₂		
	Int.	λ (air) Å.I	ν (vide)	Int.	λ (air) Å.I	ν (vide)	Int.	λ (air) Å.I	ν (vide)	Int.	λ (air) Å.I	ν (vide)
1	»	»	»	6	4019,832	24869,66	»	»	»	»	»	»
2	»	»	»	7	20,037	868,39	»	»	»	2	4019,133	24873,98
3	»	»	»	8	20,390	866,21	»	»	»	3	18,563	77,51
4	I	4024,290	24842,11	8	20,905	863,02	1*	4021,040*	24862,18*	3*	18,130*	80,19*
5	1*	25,725*	833,25*	9	21,563	858,95	2	21,735	857,89	4	17,857	81,88
6	I	27,404	822,90	9	22,372	853,95	3	22,583	852,65	7	17,750	82,54
7	2	29,186	811,92	10*	23,340*	847,97*	4	23,577	846,51	5*	17,943*	81,35*
8	2	31,126	799,98	10	24,454	841,10	5*	24,727*	839,41*	4	18,249	79,45
9	2	33,212	787,15	10*	25,725*	833,25*	6	26,022	831,42	4	18,716	76,56
10	3	35,457	773,37	10	27,125	824,62	6*	27,459*	822,56*	4	19,352	72,63
11	2	37,855	758,65	10	28,690	814,98	7	29,072	812,62	5	20,129	67,82
12	2	40,403	743,04	10*	30,414*	804,36*	7	30,829	801,81	6*	21,040*	62,18*
13	I	43,111	726,47	10	32,270	792,94	6	32,732	790,10	5	22,119	55,51
14	I	45,968	709,61	9	34,285	780,56	6	34,785	777,49	4*	23,340*	47,97*
15	I	48,988	690,58	8	36,463	767,19	6	36,993	763,94	3*	24,727*	39,41*
16	I	52,142	671,36	7	38,786	752,95	5	39,355	749,46	2	26,252	30,00
17	1*	55,403*	651,52*	6	41,262	737,78	5	41,872	734,05	2	27,937	19,62
18	1/2	58,825	630,74	6	43,897	721,66	5	44,540	717,73	2	29,763	808,37
19				5	46,682	704,65	4	47,370	700,45	2	31,746	796,17
20				4	49,626	686,69	4	50,351	682,27	2	33,883	83,03
21				4	52,727	667,80	4	53,491	663,15	2	36,169	68,99
22				3	55,982	648,00	3	56,782	643,14	2	38,614	54,00
23				3	59,400	627,25	3	60,233	622,20	I		
24				2	62,960	605,67	2	63,837	600,36			
25				2	66,683	583,15	2	67,601	577,60			
26				I	70,575	559,64	I	71,540	553,82			
27				I	74,618	535,27	I	75,620	529,24			
28				I	78,789	510,18	I	79,867	503,71			
29				I	83,156	483,97						

L'astérisque * placé en regard d'une raie indique qu'elle est superposée à une raie d'une autre suite, et que, par conséquent, le nombre donné peut être entaché d'une petite erreur.

75. *Règles de combinaison interne.* — Les raies de chaque bande vérifient assez bien, tant que m est petit, la règle de combinaison interne de Heurlinger :

$$Q(m) - P(m) = R(m + 1) - Q(m + 1).$$

Mais, lorsque m grandit, l'accord devient de moins en moins bon pour la première bande, et meilleur pour la seconde, comme le montre le Tableau XXXI :

TABLEAU XXXI

Règle de combinaison interne :

$$Q(m) - P(m) = R(m + 1) - Q(m + 1).$$

m	$Q_1(m) - P_1(m)$	$R_1(m + 1) - Q_1(m + 1)$	$Q_2(m) - P_2(m)$	$R_2(m + 1) - Q_2(m + 1)$
1	»	5,09	»	5,59
2	11,20	10,73	»	11,30
3	16,55	16,36	»	17,17*
4	22,91	21,98	20,91	22,93
5	27,23	27,94	25,70*	28,59
6	32,47	32,83	31,05	33,38*
7	37,77	37,53	36,05*	38,35
8	43,05	42,29	41,12	43,31*
9	48,16*	47,12	46,10*	48,01
10	53,53	51,86	51,25	52,84
11	58,86	56,67*	56,33	57,82*
12	64,06	61,18*	61,32*	62,57
13	69,39	66,30*	66,47	67,41*
14	74,53*	70,88	71,55	72,22*
15	79,87*	75,77	76,61	77,05
16	84,97*	80,41	81,59	81,84
17	90,33	»	86,26*	86,71
18	95,53	»	90,92	91,52
19	100,78	»	»	96,34
20	106,00	»	»	101,19
21	111,18	»	»	106,00

Entre les deux bandes, j'ai trouvé les règles de combinaison suivantes (Tableau XXXII) qui se vérifient avec un peu plus de précision que la règle précédente. Elles font intervenir le deuxième noyau Q' , laissé de côté par la première règle.

$$R_1(m) - Q_1(m) = R_2(m) - Q_2(m)$$

$$Q'_1(m) - P_1(m) = Q'_2(m) - P_2(m).$$

TABLEAU XXXII

Règle de combinaison entre les deux bandes du doublet.

m	$R_1(m) - Q_1(m)$	$R_2(m) - Q_2(m)$	$Q'_1(m) - P_1(m)$	$Q'_2(m) - P_2(m)$
1	»	»	»	»
2	5,09	5,59	10,47*	»
3	10,73	11,30	15,02	»
4	16,36	17,17*	19,85*	20,07*
5	21,98	22,93	24,58	24,64*
6	27,94	28,59	29,33	29,75
7	32,83	33,38*	34,17	34,59
8	37,53	38,35	38,93	39,43*
9	42,29	43,31*	43,53*	44,27
10	47,12	48,01	48,44	49,19*
11	51,86	52,84	53,25	53,97
12	56,67*	57,82*	57,95	58,77
13	61,18*	62,57	62,76	63,63
14	66,30*	67,41*	67,55	68,48
15	70,88	72,22*	72,31*	73,36
16	75,77	77,05	76,99*	78,10
17	80,41	81,84	81,87	82,53*
18	»	86,71	86,63	86,99
19	»	91,52	91,41	»
20	»	96,34	96,14	»
21	»	101,19	100,98	»
22	»	106,00	105,69	»

76. *Autres bandes.* — Quant aux calculs des moments d'inertie dans l'état initial et l'état final, selon la théorie quantique des spectres de bandes, ainsi que la détermination des différentes valeurs qu'elle met en jeu, je ne les donnerai que dans un travail portant sur toutes les bandes. Certaines sont plus compliquées que celle qui vient de servir d'exemple. C'est ainsi que λ 3584 (A, — 3) possède douze suites de raies au lieu de huit.

77. *Influence de la pression.* — Nous avons vu plus haut (p. 77) que lorsqu'on faisait varier la pression de l'oxyde de carbone contenu dans l'ampoule à cathode incandescente, le spectre du gaz se modifiait. Les faits les plus caractéristiques, à très basse pression sont, d'une part, la disparition des bandes d'Angström ainsi que l'affaiblissement considérable du troisième groupe positif et du nouveau spectre qui sont à peine visibles avec des poses ordinaires, et d'autre part, l'accroissement d'éclat du premier et du troisième groupe négatifs du carbone.

Il semble qu'on puisse en donner l'explication suivante : la cathode de tungs-

tène, portée à environ 2 700° absolus, émet un grand nombre d'électrons qui forment un véritable gaz dans l'ampoule et ionisent les molécules. L'émission lumineuse provient, à la fois, du choc de ces électrons animés d'une vitesse supérieure au potentiel d'ionisation contre les molécules neutres et ionisées, et du choc des molécules ionisées entre elles et contre les molécules neutres.

Ces diverses espèces de chocs doivent donner naissance à des groupes de bandes différents. A très basse pression, lorsque les chocs d'électrons prédominent, les premier et troisième groupes négatifs seuls sont visibles. A pression plus élevée, lorsque les chocs moléculaires efficaces deviennent plus nombreux, le spectre s'enrichit des groupes positifs déjà cités. Les premier et troisième groupes négatifs proviendraient donc du *choc direct* des électrons contre les molécules de CO.

L'effet de la pression se manifeste également sur la structure des bandes du troisième groupe négatif. A très basse pression, les têtes sont intenses et leur dégradé rapide : elles ressemblent alors aux bandes des queues des comètes. Lorsque la pression croît, le nombre des raies des branches P et R augmente beaucoup : le maximum d'intensité des branches P, Q, Q' et R s'éloigne de la tête et celle-ci faiblit jusqu'à être moins brillante que le milieu de la bande. De nouvelles suites de raies apparaissent.

Les planches III et IV représentent ce phénomène ainsi que l'aspect de quelques bandes appartenant aux quatre familles A, B, C, D.

78. *Conséquences pour la théorie des comètes.* — Ces résultats expérimentaux apportent un argument important en faveur de la théorie du rayonnement corpusculaire du Soleil émise en 1895 par M. H. Deslandres ⁽¹⁾. D'après cette théorie, le Soleil projette des rayons cathodiques, c'est-à-dire des électrons, à grande distance, qui produisent les jets coronaux et illuminent les gaz des comètes. On sait combien la théorie corpusculaire, appliquée aux aurores polaires par MM. Birke-land et Störmer, a donné une explication satisfaisante de leurs particularités. Mais comme vérification plus directe d'une émission d'électrons à grande distance, on n'avait guère noté jusqu'à présent, à ma connaissance, que l'apparition du groupe négatif de l'azote dans la comète Morehouse.

Or, puisque le troisième groupe négatif du carbone obtenu à très basse pression, c'est-à-dire dans des conditions qui se rapprochent de celles des comètes où la pression est encore beaucoup plus faible, est émis par le choc direct des électrons, et qu'il présente une identité complète avec le spectre des queues, j'en conclus que les gaz carbonés et ultra-raréfiés qu'elles contiennent sont très probablement illuminés par le choc d'électrons venant du Soleil ⁽²⁾. Cette conclusion

⁽¹⁾ *Annales du Bureau des Longitudes*, t. V, 1897, p. C, 70.

⁽²⁾ Le premier groupe négatif doit être également émis par les queues des comètes, mais il est inobservable à cause de l'absorption atmosphérique dans l'ultra-violet.

me paraît d'autant plus s'imposer que le spectre identifié est très sensible à l'influence de la pression, à la présence des gaz étrangers, à des conditions d'excitation différentes qui l'altèrent profondément, y mêlent d'autres bandes ou le font disparaître ; en un mot, y introduisent des dissemblances avec celui des comètes. Cependant la possibilité d'une luminescence des queues par des radiations fortement ionisantes, venant du Soleil, n'est nullement exclue.

Il est à noter que le spectre ne change pas avec la vitesse des électrons, entre 16 volts et 50 000 volts, tout au moins lorsqu'on l'observe avec une faible dispersion semblable à celle qu'on utilise dans l'étude des comètes.

79. *Ressemblance des bandes du CO, NO et BO.* — Il existe une ressemblance étroite entre le troisième groupe négatif du carbone, le troisième groupe de l'air qui est dégradé vers le violet ⁽¹⁾, le spectre de bandes de l'oxyde de bore dégradé vers le rouge ⁽²⁾ et le nouveau spectre. Tous quatre sont formés de doublets, dont chaque tête est elle-même double. En fait, ils paraissent avoir la même structure que celle qui a été décrite pour le troisième groupe négatif, c'est-à-dire qu'ils sont formés de deux bandes dont les écartements sont sensiblement constants.

Les écartements de ces bandes, exprimés en nombres d'ondes par centimètre $\Delta\nu$ sont :

	$\Delta\nu$
Troisième groupe négatif du carbone (CO)	125
Troisième groupe de l'air (NO)	120
Bandes de l'oxyde de bore (BO)	124
Nouveau spectre du CO	126

c'est-à-dire qu'ils sont presque égaux.

Cette ressemblance mérite de retenir l'attention, car le premier et le quatrième spectre sont obtenus par excitation d'une molécule CO, le second est dû à une molécule NO ⁽³⁾ et Mulliken ⁽⁴⁾ a démontré que le troisième était émis par BO.

Il est donc possible que l'atome d'oxygène, commun aux quatre molécules, joue un rôle prépondérant dans l'émission de ces quatre spectres ⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ H. Deslandres et Kannapell. *Comptes rendus*, t. 139, 1904, p. 584.

⁽²⁾ W. Jevons, *Proceedings of the Royal Society A.*, t. 91, 1915, p. 120.

⁽³⁾ H. Deslandres, *Comptes rendus*, t. 101, 1885, p. 1256, et Percival Lewis, *Astrophysical Journal*, t. 20, 1904, p. 58.

⁽⁴⁾ R. S. Mulliken, *Nature*, t. 113, 1924, p. 423.

⁽⁵⁾ Ce paragraphe était rédigé, et même la partie qui concerne la ressemblance des bandes du CO et du NO avait été publiée (*Comptes rendus*, t. 180, 1925, p. 273) lorsque M. R.-S. Mulliken a fait paraître dans le numéro de novembre 1925 de *Physical Review* (t. 26 p. 561), un article où il signale également cette ressemblance.

80. *Travaux ultérieurs sur le troisième groupe négatif du carbone.* — Depuis que ces recherches ont été faites, M. Harvey B. Lemon ⁽¹⁾ a repris la méthode de Merton et Johnson (*op. cit.*) pour étudier le spectre des queues de comètes. Il fait passer une décharge dans un long tube de Wood de 0^{cm},4 de diamètre intérieur, rempli d'hélium, à la pression de 2 centimètres, qui a circulé sur du carbone activé. Le mélange gazeux fournit un assez brillant spectre des queues de comètes, mais d'éclat inférieur à celui de la décharge thermionique lorsque la pression du composé carboné est de l'ordre de 10⁻⁴ millimètre. Malheureusement, dans ces expériences, la composition du gaz résiduel carboné est inconnue, mais CO² et divers hydrocarbures sont présents. De plus le spectre des doublets est souillé par de nombreuses raies et bandes étrangères, les intensités de ses bandes sont différentes de celles des comètes comme on peut le voir sur la planche accompagnant le Mémoire. Il y a donc lieu de ne pas l'appeler spectre des queues, puisqu'il en diffère, mais troisième groupe négatif du carbone. Cependant, au point de vue purement physique, les altérations dans les bandes provoquées par la présence de l'hélium sont importantes à étudier. Le Mémoire montre, en outre, que dans l'hélium les premier et troisième groupes négatifs apparaissent ensemble. Ce fait est identique à celui que j'ai trouvé avec l'oxyde de carbone seul dans l'ampoule thermionique.

Cependant l'auteur conclut en disant que « l'hélium joue seulement un rôle secondaire dans l'excitation de ces spectres [premier groupe négatif, spectre des queues], mais néanmoins un rôle nécessaire pour leur production avec une grande intensité ⁽²⁾.

Mes recherches montrent, au contraire, que l'hélium n'est nullement nécessaire pour produire le premier groupe négatif et le spectre des queues avec une grande intensité, et que sa présence ne fait qu'altérer ce dernier.

M. R.-C. Johnson a repris la mesure des longueurs d'onde des têtes des treize doublets du spectre des queues obtenu dans l'hélium et en a donné la liste, qui est en assez bon accord avec la mienne ⁽³⁾.

VI. — NOUVEAU SPECTRE DE BANDES

81. *Description. Longueurs d'onde.* — Lorsque la pression de l'oxyde de carbone dans l'ampoule thermionique n'est pas très basse, on observe des doublets dégradés vers le violet qui rappellent par leur aspect ceux du troisième groupe négatif, à côté desquels, du reste, ils se trouvent situés.

(1) The Comet Tail Spectrum and Deslandres' First Negativ Group, *Proceedings of the National Academy of Washington*, t. 11, 11 janvier 1925, p. 41.

(2) *Op. cit.*, p. 43.

(3) Further Spectra associated with Carbon, *Proceedings of the Royal Society*, A. t. 108, 1925, p. 343.

Ce nouveau spectre est bien développé sous une pression de 0^{mm},7, il est moins visible à 10 millimètres, et aux pressions les plus basses qui ont été obtenues, il est à peine perceptible. Il est formé de trois doublets intenses dont chaque tête est elle-même un doublet serré. J'ai photographié ce spectre avec différentes dispersions, en particulier avec la haute dispersion du spectrohéliographe qui m'a permis de bien mettre en évidence les lignes nombreuses dont il est constitué (Pl. IV). Leur structure fera l'objet d'une étude ultérieure. Avec la dispersion du spectrographe à un spat, les positions des têtes sont les suivantes :

TABLEAU XXXIII

Positions des bandes du nouveau spectre du CO.

Int.	λ air (Å)	ν vide
2	4236,46	23597,8
4	4231,01	23628,4
5	4213,06	23729,0
5	4208,71	23753,6
3	3977,91	25131,7
9	3973,17	25161,7
9	3957,11	25263,8
10	3953,32	25288,0
2	3729,60	26805,7
6	3724,76	26839,6
8	3711,03	26939,1
8	3707,12	26967,5

Il est assez remarquable de ne trouver aucune trace d'autres doublets appartenant à la même série. Elle se termine ainsi, brusquement, sur des bandes intenses.

La structure des bandes d'après une série de clichés obtenus au spectrohéliographe ressemble à celle des doublets du troisième groupe négatif, c'est-à-dire qu'elles sont formées de deux branches ayant leur origine à la deuxième et à la quatrième tête.

Les intervalles en nombres d'ondes sont respectivement de :

$$\begin{aligned}\Delta\nu &= 125,2 \\ &126,3 \\ &127,7\end{aligned}$$

c'est-à-dire presque identiques à ceux du troisième groupe négatif du carbone, comme je l'ai déjà indiqué.

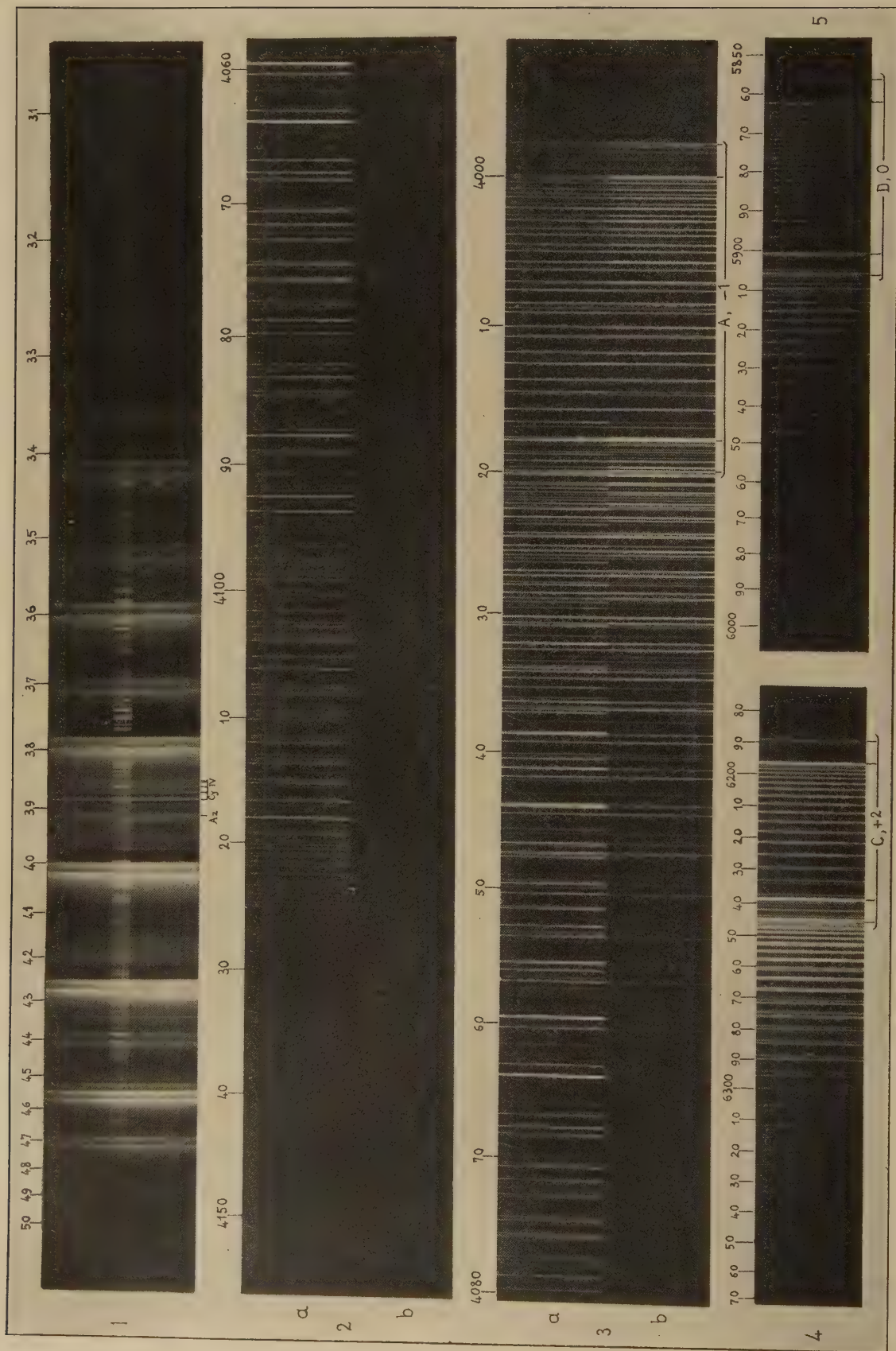


Fig. 1 à 5. — Troisième groupe négatif du carbone (Spectre des queues de comètes).

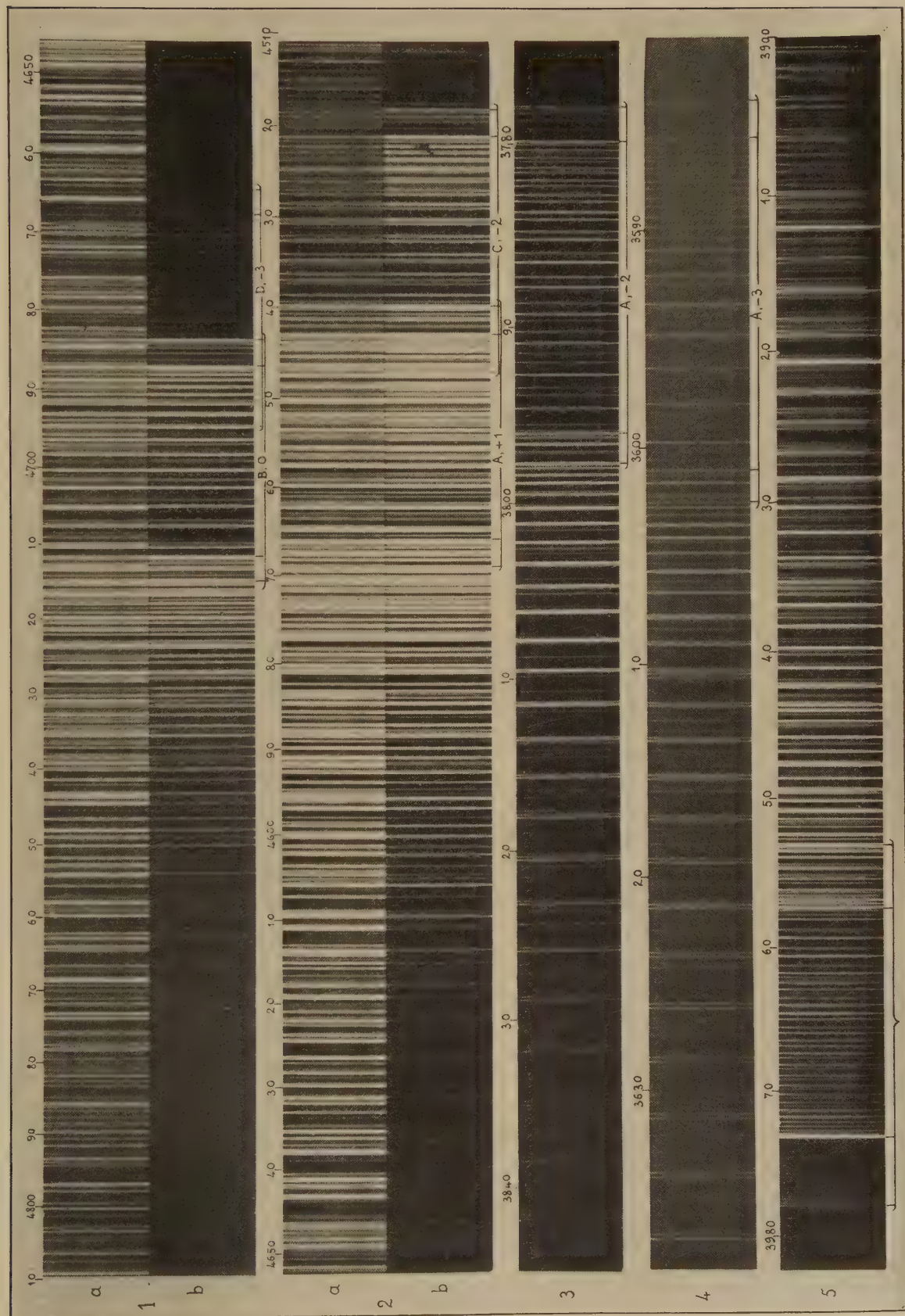


Fig. 1 à 4. — Troisième groupe négatif du carbone (*suite*). — Fig. 5. — Nouveau spectre de bandes de l'oxyde de carbone.

Ce spectre n'avait jamais été décrit, tout au moins en donnant les longueurs d'onde.

Il est cependant possible que le doublet le plus intense ait été déjà observé, en 1909, par H. von Drechend ⁽¹⁾. L'étude du spectre de la décharge faiblement lumineuse d'un courant continu, entre des pointes fines, dans du CO² à la pression atmosphérique, lui a permis de découvrir une série de bandes dont deux sont situées à λ 3973,1 et λ 3957,1 ; mais la faible précision des mesures de l'auteur et l'absence des autres têtes intenses rendent l'identification incertaine.

82. *Travaux ultérieurs.* — Un an après ma publication aux *Comptes rendus* ⁽²⁾ de la description de ce nouveau spectre, le Dr R.-C. Johnson donna, sous le titre « Un nouveau système de bandes », les longueurs d'ondes de six doublets obtenus dans son mélange d'hélium et de gaz carboné. Trois étaient identiques aux miens, et, en fait, son système de bandes était une extension de celui que j'avais signalé. J'ai appelé l'attention sur ce fait dans *Nature* ⁽³⁾.

Le Dr Johnson, tout en reconnaissant l'antériorité ⁽⁴⁾ de mes mesures, a fait remarquer que, lui-même, en collaboration avec le Professeur Merton, avait signalé auparavant son existence dans les termes suivants : « On doit remarquer que, en plus des bandes du spectre des queues de comètes qui sont dégradées vers le rouge, il y a un certain nombre de bandes extrêmement faibles dégradées vers le violet, mais dont l'aspect est à peu près le même » ⁽⁵⁾ et que ces faibles bandes, dont les positions n'avaient pas été données, étaient bien celles du nouveau spectre.

VII. — SPECTRES THERMIONIQUES DE DIFFÉRENTS GAZ.

83. *Gaz carbonés. Recherche du spectre de Swan.* — L'absence complète du spectre de Swan dans l'ampoule thermionique contenant du CO ou du CO² est tout à fait remarquable. En effet, dans les comètes, le spectre de Swan et le troisième groupe négatif du carbone sont visibles tous deux dans la tête.

J'ai donc cherché à obtenir simultanément dans l'ampoule le spectre de Swan et le troisième groupe négatif du carbone en m'adressant à différents gaz carbo-

⁽¹⁾ *Annalen der Physik*, t. 30, 1909, p. 719.

⁽²⁾ Séance du 5 mai 1924, t. 178, p. 1525. Sur les spectres de la décharge thermionique dans l'oxyde de carbone. Nouveau spectre de bandes. F. Baldet.

⁽³⁾ The Band Spectra associated with Carbon, F. Baldet. *Nature*, t. 116, 5 septembre 1925, p. 360.

⁽⁴⁾ The Band Spectra associated with Carbon, R.-C. Johnson. *Nature*, t. 116, 10 octobre 1925, p. 589.

⁽⁵⁾ *Proceedings of the Royal Society A.*, t. 103, 1923, p. 389.

nés et en faisant varier les conditions de l'excitation : température du filament et différence de potentiel entre la cathode et l'anode.

Acétylène. — Préparé à partir du carbure de calcium, l'acétylène à très basse pression m'a donné les mêmes spectres que le CO. Mais si on élève la pression à 1 millimètre environ, on voit jaillir brusquement dans l'ampoule une vive lueur verte, au moment où on allume le filament. Elle s'éteint aussitôt, en même temps que la pression du gaz s'abaisse au-dessous de 10^{-3} millimètre comme le montre le tube témoin à étincelle qui ne laisse plus passer aucune décharge. L'acétylène a été décomposé brusquement, du carbone s'est déposé contre les parois de l'ampoule ; quant à l'hydrogène on n'en trouve plus que de faibles traces dans l'appareil.

L'observation visuelle de la lueur verte au spectroscope à vision directe, sur la fente duquel le cône bleu vert d'un bec Bunsen est projeté pour la comparaison, montre un brillant spectre de Swan. Il se produit donc au moment de la destruction de la molécule de C^2H^2 .

Benzène. — Les phénomènes sont identiquement les mêmes que ceux présentés par l'acétylène : un brillant spectre de Swan est visible lorsque la lueur s'allume à la manière d'une petite explosion autour de l'anode et le benzène est détruit. Il est à noter que ces lueurs se produisent encore, à plusieurs reprises, pendant quelques secondes, lorsque la cathode a été éteinte et que l'anode est encore très chaude. Le courant de décharge sous 70 volts dépasse 1 ampère.

Naphtalène. — En évaporant, par chauffage, de la naphtaline dans le vide on obtient les mêmes explosions qu'avec l'acétylène et le benzène. Elles donnent toujours un brillant spectre de Swan en même temps que la molécule dissociée produit du carbone qui se dépose en abondance sur les parois de l'ampoule.

Alcool méthylique. — N'a donné ni les explosions des corps précédents, ni aucune trace du spectre de Swan.

Gaz d'éclairage. — N'a donné ni les explosions, ni le spectre de Swan. On observe, entre autres, de nombreuses bandes appartenant aux différents groupes de l'azote, au cyanogène, ainsi qu'aux spectres connus de l'oxyde de carbone.

Cathode de carbone. — Avec une cathode de carbone et de l'hydrogène pur provenant d'un osmo-régulateur en platine, des lueurs explosives vertes se produisent comme pour les trois premiers gaz étudiés, et donnent un brillant spectre de Swan. La cathode est rapidement détruite.

84. *Conclusions.* — A aucun moment, au cours de ces recherches, je n'ai pu obtenir une luminescence stable dans l'ampoule donnant, d'une manière continue, le spectre de Swan. La production de ce dernier a toujours été accompagnée d'une dissociation brusque du gaz dans le cas de l'acétylène, du benzène et du naphthalène, ou d'une combinaison aussi brusque du carbone de la cathode avec l'hydrogène de l'ampoule, suivie, probablement, de dissociation ; alors que dans le tube témoin illuminé par la décharge d'une bobine, le spectre de Swan était toujours observable. La présence d'une cathode incandescente, si favorable pour la production du spectre des queues, paraît donc un obstacle pour l'obtention du spectre de Swan.

L'origine du spectre de Swan n'est pas encore connue. Certains physiciens pensent qu'il est dû au carbone seul, d'autres à une molécule $C + H$ en voie de dissociation ou de formation. Comme on l'a vu, les expériences précédentes semblent être en faveur de cette dernière hypothèse : les bandes ne sont apparues qu'au moment de la destruction d'une molécule $C + H$ ou au moment de la combinaison de C avec H . Les phénomènes observés sont également en accord avec les données actuelles de la théorie quantique qui postule que l'origine des spectres de bandes ne peut être atomique mais moléculaire.

Les expériences de Johnson, faites en 1910, conduisent aux mêmes résultats ⁽¹⁾.

85. *Hydrogène et air.* — D'autres recherches sur les spectres de bombardement électronique de l'hydrogène et de l'air ont montré le beau développement que prend le spectre secondaire du premier corps, et l'intensité exceptionnelle des bandes des différents groupes positifs et négatifs de l'azote avec le second, mais sans rien révéler qui ne soit déjà plus ou moins connu par des travaux récents.

VIII. — LE SPECTRE DE LA COMÈTE BRORSEN (1868 a).

Les observations visuelles du troisième groupe négatif du carbone décrites p. 81 vont nous permettre d'aborder le problème posé par le spectre non identifié qui fut observé dans la comète périodique Brorsen en 1868 et qui n'a pas encore reçu jusqu'à présent de solution définitive.

86. *Observations de W. Huggins. Longueurs d'onde.* — L'astronome anglais observa la comète Brorsen, du 2 au 13 mai 1868, avec un spectroscopie à fente muni d'un prisme de 60° ⁽²⁾. L'astre se présentait comme une nébulosité ronde avec un très petit noyau stellaire visible de temps à autre. Le 7 mai une courte queue fut notée.

⁽¹⁾ *Nature*, t. 116, 10 octobre 1910, p. 539.

⁽²⁾ *Proceedings of the Royal Society*, t. 16, 1868, p. 386.

Le spectre visuel était composé de trois bandes brillantes dues à la chevelure, et non pas seulement au noyau. En fermant la fente, les radiations jaunes et bleues n'étaient pas mieux définies et, à aucun moment, il ne put résoudre des bandes en lignes.

La bande verte du milieu était la plus intense et son éclat fut apprécié comme étant les trois quarts de la lumière totale. Avec une fente relativement étroite, il y distingua nettement deux lignes brillantes, plus courtes que la bande, et visibles seulement sur le noyau.

Un très faible spectre continu, visible également, n'a pas été reproduit sur le dessin qui accompagne la note.

Aucune variation dans le spectre n'a été notée au cours des observations.

Les positions relatives des bandes, rapportées à une échelle arbitraire, furent déterminées par des mesures micrométriques, et aussi par des comparaisons simultanées avec les raies d'émission du magnésium, du sodium, de l'hydrogène et de l'azote.

Il est donc aisé de retracer la courbe de dispersion du spectroscopie employé par Huggins et de déterminer les positions des bandes de la comète. J'ai trouvé les valeurs suivantes :

TABLEAU XXXIV

Spectre visuel de la comète Brorsen (1868 a).

λ déterminés sur le spectre de Huggins	λ indiqués par Huggins en 1882
541 } à } 545 }	543 } 544 $\pm$ }
502 } 5032 } 5048 } 506 }	504 } 507 }
470 } à } 472 }	471 } 465 $\pm$ }

87. *Observations du P. Secchi. Longueurs d'onde.* — Il employa un spectroscopie à vision directe, sans fente, mais garni d'une lentille cylindrique. Le spectre fut rapporté à celui de Vénus ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 66, 1868, p. 881.

Sur un faible fond continu, il vit trois bandes brillantes dont la plus intense était dans le vert. Leurs positions relatives, exprimées en tours de vis du micromètre, sont données dans le mémoire, conjointement avec les raies sombres D, b, F et G. Ceci m'a permis de tracer la courbe de dispersion et de déterminer leurs longueurs d'onde que voici :

$$\lambda = 550, 510, 473.$$

Elles se rapportent vraisemblablement à la partie la plus intense de chaque bande.

En outre, l'observateur a noté quelquefois une quatrième bande dans le rouge, mais très difficile à fixer. Il n'a donné pour celle-ci aucune mesure micrométrique, qui permette de déterminer sa longueur d'onde. Cette bande a échappé à Huggins.

Quoique moins précises que les positions données par l'observateur anglais, on peut considérer les longueurs d'onde de Secchi comme étant en bon accord avec elles. Néanmoins, pour la discussion qui va suivre, j'adopterai les longueurs d'onde déduites du spectre de Huggins.

88. *Identification.* — Il apparut, peu de temps après ces observations, qu'on ne pouvait identifier les trois bandes de la comète Brorsen avec les bandes de Swan à λ 564, 516 et 474 découvertes dans la comète suivante (Winnecke, 1868 b). L'écart était surtout élevé pour les deux premières, et, de l'avis des observateurs eux-mêmes, supérieur aux erreurs possibles des mesures.

Secchi le remarque déjà dans sa note présentée à la séance du 29 juin 1868 à l'Académie des Sciences ⁽¹⁾. Comparant les pointés effectués sur la comète Winnecke avec ceux obtenus sur la comète Brorsen, il dit : « Ces différences sont trop considérables pour être attribuées à de simples erreurs d'observation. La lumière verte commence ici près de la raie du magnésium b, pendant que celle du spectre de la comète de Brorsen en était très éloignée. »

Il y revient dans sa note du 20 juillet 1868 ⁽²⁾ après une question de Wolf : « Il est donc nécessaire d'admettre une différence réelle dans les deux comètes, différence qui ne paraît pas tenir seulement à ce que l'une est plus brillante que l'autre, car, dans le rouge et jaune, celle de Brorsen présentait deux bandes lumineuses, et celle-ci (Winnecke) n'en a qu'une. »

Lorsque, au retour de 1879, la comète fut étudiée spectroscopiquement pour la seconde fois, et qu'on lui trouva le spectre de Swan habituel, Young, qui en fit

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, t. 66, 1868, p. 1301.

⁽²⁾ *Comptes rendus*, t. 67, 1868, p. 143.

d'excellentes observations ⁽¹⁾, n'hésita pas à admettre un changement du spectre dans l'intervalle. Ce fut également l'opinion de Huggins ⁽²⁾ dans sa réponse à Young.

L'origine du spectre de la comète Brorsen resta mystérieuse jusqu'en 1910, époque à laquelle M. Fowler, ayant retrouvé en laboratoire le spectre des queues, reprit la question restée en suspens depuis tant d'années ⁽³⁾. Il compara les longueurs d'onde des deux spectres et constata qu'en 1868, le spectre de la comète Brorsen se rapprochait beaucoup de celui de la comète Morehouse, n'en différant que par le plus grand développement du spectre des queues dans le voisinage du noyau.

Mais la comparaison était faite entre un spectre photographique de laboratoire dans une région à peine étudiée, et un spectre visuel. Les intensités relatives des bandes étaient différentes dans les deux cas.

Grâce à l'intensité du spectre des queues présenté par l'ampoule thermionique j'ai été à même de me replacer dans des conditions présentant quelque analogie avec celles que l'on rencontre dans les observations visuelles de comètes, en dirigeant sur la lueur un spectroscopie à vision directe et se mettant suffisamment loin pour l'affaiblir convenablement. On constate alors aisément, lorsque la fente est assez largement ouverte, que l'aspect du spectre ainsi observé rappelle le dessin de Huggins. Les trois bandes, notées par lui, sont bien les plus intenses, la verte dépassant de beaucoup les autres, et les bandes intermédiaires, avec la lumière blanche diffusée par le filament, forment un fond peu intense. En outre, on voit assez bien la bande rouge signalée par Secchi.

Il semble donc, d'après cette concordance visuelle, qu'on puisse conclure à l'identité du spectre de la comète Brooks, en 1868, avec le troisième groupe négatif du carbone.

89. *Retour de 1879.* — Il n'y a aucun doute qu'en 1879 la même comète ait offert le spectre classique de Swan et n'ait plus montré trace des bandes du troisième groupe négatif. Le fait est attesté en particulier par les observations de Young, de Christie et de N. de Konkoly ⁽⁴⁾. Il y a donc eu une variation spectrale des plus importantes. Elle pose le problème des variations d'activité du noyau aux différents passages de l'astre près du Soleil.

⁽¹⁾ *American Journal of Sciences*, t. 17, 1879, p. 373.

⁽²⁾ *Nature*, t. 19, 1879, p. 579.

⁽³⁾ *Monthly Notices*, t. 70, 1910, p. 490.

⁽⁴⁾ Voir les références bibliographiques, p. 66.

IX. — LE SPECTRE DU BEC MÉKER

90. *Observations de C.-W. Raffety.* — En étudiant le spectre de Swan donné par la flamme du bec Méker, M. Raffety a découvert en 1916 ⁽¹⁾ une série de très faibles raies (ou bandes ?) situées entre λ 402 et λ 410, dans la région du groupe caractéristique du spectre non identifié du noyau que j'ai décrit précédemment (p. 53). Un premier examen m'ayant montré une certaine analogie entre ce nouveau spectre et le spectre cométaire, j'ai repris l'étude du premier à l'Observatoire de Meudon, en suivant la technique décrite par l'auteur dans son Mémoire, mais en employant une dispersion moindre pour faciliter la comparaison avec les spectres cométaires. J'ai obtenu une assez bonne image des nouvelles radiations en posant huit heures sur plaque As de Trèfle W, avec le spectrographe à un prisme de spath.

91. *Longueurs d'onde. Comparaison avec les comètes.* — On trouvera ci-dessous les mesures de M. Raffety et les miennes en regard des longueurs d'onde cométaires à identifier.

TABLEAU XXXV

Comparaison des spectres du bec Méker et du noyau des comètes.

Bec Méker			Comètes	
λ Raffety	Int.	λ Baldet	Int.	λ
4108	2	4110	3	4109,3
			3	4099,6
4095,3	4	4095,0		
4084,8	4	4085,0	2	4085,1
4074,0	6	4075,5	9	4074,0
4066,0	10	4067,1	7	4067,7
4060,7	8	4058,6	Intervalle sombre.	
4053,0	8	4050,0	10	4051,6
4047,8				
4043,2	4	4043	9	{ 4043,0
4040,0	4	4039		{ 4039,6
4037,0	4	4035,0		
4031,3			3	4032,6
4025,2	6	4026,5		
			8	{ 4020,1
				{ 4014,5

(1) *Philosophical Magazine*, t. 32, 1916, p. 555.

L'examen du tableau montre que, dans la limite de précision des mesures qui dépasse à peine l'Ångström, il y a concordance entre sept radiations des spectres cométaire et terrestre sur un total de onze que compte ce dernier.

De plus, cette concordance a lieu avec des radiations trouvées dans la flamme des hydrocarbures, dont les principales (spectre de Swan) ont été observées, comme on le sait, dans toutes les comètes.

Il serait cependant prématuré de conclure à l'identification des deux spectres à cause des lacunes qu'ils présentent de part et d'autre.

On ne doit voir là, tout au moins pour l'instant, qu'une coïncidence assez étroite, qui méritait de retenir l'attention et d'être signalée.

CHAPITRE V

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Arrivé au terme de ce travail, nous pouvons jeter un regard sur l'ensemble et en tirer quelques conclusions.

92. *Simplicité des spectres cométaires.* — Nous voyons, en premier lieu, que les spectres cométaires, dans leur grande majorité, appartiennent tous à un même type ; mais que leurs groupes de bandes constitutifs sont plus ou moins intenses suivant la comète, et suivant sa distance au Soleil.

Nous y retrouvons toujours les bandes de Swan et du cyanogène pour la tête, le spectre non identifié pour le noyau, le troisième groupe négatif du carbone et, parfois, le groupe négatif de l'azote pour la queue lorsque celle-ci est assez développée.

C'est seulement quand la comète s'approche suffisamment du Soleil que les phénomènes changent : les raies du sodium apparaissent, et la queue donne un spectre continu intense sur la nature duquel on n'est pas encore fixé.

Au point de vue spectral, on voit donc qu'il reste encore deux problèmes importants à résoudre :

1^o Le spectre d'apparence continu de la queue des grandes comètes passant près du Soleil est-il réellement continu ou cette apparence est-elle due à un défaut de dispersion ? En d'autres termes, doit-on rechercher son origine dans la lumière solaire diffusée, ou dans un spectre de résonance ou d'émission qui s'y superposerait ?

2^o Quelle est l'origine du spectre du noyau ?

La première question relève de l'astronomie d'observation, tandis que la seconde doit être abordée en laboratoire.

93. *Documents nouveaux.* — Mais à côté de ces problèmes dont la solution reste encore en suspens, les recherches exposées au cours de cet ouvrage ont apporté un certain nombre de données nouvelles. Voici les principales :

1° La connaissance d'un spectre particulier aux queues des comètes dont le groupe de bandes caractéristique a été étudié en détails dans la comète Morehouse (1908 *c*).

2° L'étude du spectre particulier de leur noyau, comprenant un assez grand nombre de radiations non identifiées, qui se présentent sous l'aspect d'un spectre de lignes, et que la comète Brooks (1911 *c*) nous a montré avec le plus d'intensité.

3° La présence du spectre rouge du cyanogène dans la comète Daniel (1907 *d*).

4° La répartition constante des éléments gazeux dans les comètes.

5° Le désaccord des observations spectrales avec la théorie de Bredichin, dans le cas des deux seules comètes qui ont pu être étudiées à ce point de vue : Brooks (1911 *c*) et Gale (1912 *a*).

6° L'évolution des spectres cométaires en fonction de la distance au Soleil.

7° La reproduction exacte en laboratoire, avec une forte intensité, du spectre des queues par le bombardement électronique de l'oxyde de carbone et l'étude générale des bandes de ce spectre que j'ai désigné sous le nom de troisième groupe négatif du carbone. La structure d'une des bandes intenses a été décrite.

8° La découverte d'un nouveau spectre de bandes du carbone.

9° J'ai montré enfin que les variations expérimentales des bandes du troisième groupe négatif du carbone et des suites de raies qui les composent, permettaient de conclure en faveur de la théorie corpusculaire de M. Deslandres attribuant la luminescence des comètes à un bombardement électronique venant du Soleil.

APPENDICE

TABLEAU POUR L'IDENTIFICATION DES SPECTRES DE COMÈTES

Pour faciliter aux observateurs l'identification de leurs spectres de comètes, j'ai classé en un seul tableau les longueurs d'onde des bandes de Swan (C), du cyanogène (Cy), des raies non identifiées émises par le noyau (Noyau), des raies D du sodium, de la bande caractéristique du pôle négatif de l'azote, et des principales bandes du troisième groupe négatif du carbone (deuxième et quatrième têtes) (Queue). A part ces dernières et l'azote, toutes les autres donnent, comme nous l'avons vu, des images du noyau. Les bandes de Swan et du cyanogène sont, en outre, accompagnées d'images de la chevelure. Les raies du sodium, visibles en général lorsque la comète se rapproche du Soleil à moins d'une demi-unité astronomique environ, peuvent s'étendre dans la chevelure et la queue. Cet ensemble de longueurs d'onde représente, en quelque sorte (à part l'azote) ce qu'on pourrait appeler un *spectre normal* de comète.

La comparaison des longueurs d'onde mesurées sur le spectre de la comète à identifier, avec les nombres du Tableau XXXVI suffira pour mettre en évidence — par élimination de ce qui aura été retrouvé — toutes les particularités nouvelles ou rares (voir Tableau XXI) que le spectre étudié pourrait présenter.

Comme il arrive fréquemment, surtout sur les photographies prises au prisme-objectif, que les têtes de bandes ne se distinguent pas les unes des autres, j'ai réuni par une accolade les groupes caractéristiques qu'elles forment. Je n'ai pas marqué les intensités relatives de ces derniers, car elles sont variables.

TABLEAU XXXVI

Longueurs d'onde pour l'identification des spectres des comètes.

λ	Origine	Comète	λ	Origine	Comète
6649	Cy I.....	Tête	4928,5	.....	Noyau
6495	Cy I.....	Tête	4914,5	C 3 ^e gr. nég. (A, + 2) ..	Queue
6348	Cy I.....	Tête	4883,9	C 3 ^e gr. nég. (A, + 2) ..	Queue
6300	.....	Noyau	4869,0	C 3 ^e gr. nég. (C, — 1) ..	Queue
6245,0	C 3 ^e gr. nég. (C, + 2) ..	Queue	4840,4	.....	Noyau
6207	Cy I.....	Tête	4839,6	C 3 ^e gr. nég. (C, — 1) ..	Queue
6196,4	C 3 ^e gr. nég. (C, + 2) ..	Queue	4737,2	C IV	Tête
6191,1	C I.....	Tête	4724,2	.....	Noyau
6121,8	C I	Tête	4715,4	C IV	Tête
6059,9	C I.....	Tête	4714,5	C 3 ^e gr. nég. (B, O)	Queue
6007	Cy I.....	Tête	4697,6	C IV	Tête
6005,1	C I.....	Tête	4686,8	C 3 ^e gr. nég. (B, O)	Queue
5958,2	C I.....	Tête	4684,6	C IV	Tête
5905,7	C 3 ^e gr. nég. (D, O)	Queue	4680,2	C IV	Tête
5896,2	Sodium D ₁		4667,6	C 3 ^e gr. nég. (D, — 3) ..	Queue
5890,2	Sodium D ₂		4606,3	Cy II	Tête
5872	Cy I.....	Tête	4578,2	Cy II	Tête
5862,3	C 3 ^e gr. nég. (D, O)	Queue	4568,7	C 3 ^e gr. nég. (A, + 1)...	Queue
5743	Cy I.....	Tête	4553,3	Cy II	Tête
5698,6	C 3 ^e gr. nég. (C, + 1) ..	Queue	4542,6	C 3 ^e gr. nég. (A, + 1) ..	Queue
5658,1	C 3 ^e gr. nég. (C, + 1) ..	Queue	4532,1	Cy II	Tête
5635,4	C II	Tête	4521,0	C 3 ^e gr. nég. (C, — 2) ..	Queue
5611	Cy I.....	Tête	4515,0	Cy II	Tête
5585,5	C II	Tête	4502,4	Cy II	Tête
5540,9	C II	Tête	4477	.....	Noyau
5504,5	C 3 ^e gr. nég. (B, + 2) ..	Queue	4440	.....	Noyau
5500,0	C II	Tête	4430	.....	Noyau
5486	Cy I.....	Tête	4412	.....	Noyau
5470,0	C II	Tête	4406,2	C 3 ^e gr. nég. (B, — 1) ..	Queue
5466,7	C 3 ^e gr. nég. (B, + 2) ..	Queue	4381,4	C 3 ^e gr. nég. (B, — 1) ..	Queue
5430,5	C 3 ^e gr. nég. (D, — 1) ..	Queue	4380,9	C V	Tête
5393,9	C 3 ^e gr. nég. (D, — 1) ..	Queue	4371,1	C V	Tête
5366	Cy I.....	Tête	4364,3	C V	Tête
5251	Cy I.....	Tête	4350	.....	Noyau
5165,4	C III	Tête	4335	.....	Noyau
5129,5	C III	Tête	4329	.....	Noyau
5101,0	C III	Tête	4313,8	.....	Noyau
5081,9	C III	Tête	4304,2	.....	Noyau
5075,9	C 3 ^e gr. nég. (B, + 1) ..	Queue	4301,1	.....	Noyau
5043,7	C 3 ^e gr. nég. (B, + 1) ..	Queue	4291,7	.....	Noyau

λ	Origine	Comète	λ	Origine	Comète
4273,9	C 3 ^e gr. nég. (A, o).....	Queue	3968,4	.....	Noyau
4264,2	.....	Noyau	3914,4	Az nég.	Queue
4255,8	.....	Noyau	3910,9	.....	Noyau
4251,3	C 3 ^e gr. nég. (A, o).....	Queue	{ 3909,9	C 3 ^e gr. nég. (B, — 3) ..	Queue
4246,2	C 3 ^e gr. nég. (C, — 3) ..	Queue	{ 3890,5	C 3 ^e gr. nég. (B, — 3) ..	Queue
{ 4238	.....	Noyau	{ 3883,1	Cy IV	Tête
{ 4230	.....	Noyau	{ 3871,4	Cy IV	Tête
{ 4216,1	Cy III	Tête	{ 3862,1	Cy IV	Tête
{ 4197,2	Cy III	Tête	{ 3854,7	Cy IV	Tête
{ 4181,0	Cy III	Tête	{ 3850,9	Cy IV	Tête
{ 4167,8	Cy III	Tête	{ 3797,4	C 3 ^e gr. nég. (A, — 2) ..	Queue
{ 4158,2	Cy III	Tête	{ 3779,5	C 3 ^e gr. nég. (A, — 2) ..	Queue
{ 4153,8	C 3 ^e gr. nég. (D, — 5) ..	Queue	{ 3707,1	C 3 ^e gr. nég. (B, — 4) ..	Queue
{ 4140,4	C 3 ^e gr. nég. (B, — 2) ..	Queue	{ 3689,8	C 3 ^e gr. nég. (B, — 4) ..	Queue
{ 4132,5	C 3 ^e gr. nég. (D, — 5) ..	Queue	{ 3602,3	C 3 ^e gr. nég. (A, — 3) ..	Queue
{ 4124,6	.....	Noyau	{ 3590,3	Cy V	Tête
{ 4119,4	C 3 ^e gr. nég. (B, — 2) ..	Queue	{ 3585,8	Cy V	Tête
{ 4109,3	.....	Noyau	{ 3585,7	C 3 ^e gr. nég. (A, — 3) ..	Queue
{ 4099,6	.....	Noyau	{ 3583,7	Cy V	Tête
{ 4085,1	.....	Noyau	{ 3527,0	C 3 ^e gr. nég. (B, — 5) ..	Queue
{ 4074,0	.....	Noyau	{ 3511,7	C 3 ^e gr. nég. (B, — 5) ..	Queue
{ 4067,7	.....	Noyau	{ 3429,2	C 3 ^e gr. nég. (A, — 4) ..	Queue
{ 4051,6	.....	Noyau	{ 3414,6	C 3 ^e gr. nég. (A, — 4) ..	Queue
{ 4043,0	.....	Noyau	{ 3367,0	C 3 ^e gr. nég. (B, — 6) ..	Queue
{ 4039,6	.....	Noyau	{ 3360,1	Cy IV	Tête
{ 4032,6	.....	Noyau	{ 3352,9	C 3 ^e gr. nég. (B, — 6) ..	Queue
{ 4020,1	.....	Noyau	{ 3315,5	C 3 ^e gr. nég. (C, — 8) ..	Queue
{ 4019,8	C 3 ^e gr. nég. (A, — 1) ..	Queue	{ 3302,1	C 3 ^e gr. nég. (C, — 8) ..	Queue
{ 4014,5	.....	Noyau	{ 3275,2	C 3 ^e gr. nég. (A, — 5) ..	Queue
{ 4002,0	.....	Noyau	{ 3261,6	C 3 ^e gr. nég. (A, — 5) ..	Queue
{ 3999,5	C 3 ^e gr. nég. (A, — 1) ..	Queue	{ 3223,5	C 3 ^e gr. nég. (B, — 7) ..	Queue
{ 3993,1	.....	Noyau	{ 3210,7	C 3 ^e gr. nég. (B, — 7) ..	Queue
{ 3988,4	.....	Noyau			

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

L'atome de Bohr et la classification périodique des éléments.

Vu et approuvé :

Paris, le 13 mars 1926.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

M. MOLLIARD.

Vu et permis d'imprimer :

LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

P. LAPIE.
